

**ESTANDARIZACIÓN COMPOSICIONAL DE CHATARRA PARA MEJORAR EL
RENDIMIENTO METÁLICO EN CONVERTIDOR LWS DE
ACERÍAS PAZ DEL RÍO**

CESAR MAURICIO COCUNUBO MEDINA

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE METALURGIA
TUNJA
2018**

**ESTANDARIZACIÓN COMPOSICIONAL DE CHATARRA PARA MEJORAR EL
RENDIMIENTO METÁLICO EN CONVERTIDOR LWS DE
ACERÍAS PAZ DEL RÍO**

Presentado por

CESAR MAURICIO COCUNUBO MEDINA

Trabajo de grado como requisito para optar el título de:

Ingeniero Metalúrgico

Director:

FABIO RAÚL PÉREZ VILLAMIL

Ingeniero Metalúrgico, Maestría en Metalurgia y Ciencia de los Materiales

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE METALURGIA

TUNJA

2018

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

A LA VIRGEN DEL MILAGRO POR NO DESAMPARARNOS NUNCA.

A MIS PADRES JOSE TOBIAS COCUNUBO Y GILMA STELLA MEDINA,
QUIENES A TRAVÉS DE SU BUEN EJEMPLO ME HAN ENSEÑADO QUE CON
DISCIPLINA Y PACIENCIA LAS MEJORES COSAS SON POSIBLES.

A MI HERMANO JOSE FERNANDO COCUNUBO QUIEN A SIDO MI MEJOR
EJEMPLO DE VIDA.

A LOS AMORES DE MI VIDA Y FUTURA ESPOSA MILEMANJARRES Y
SAMMY MANJARRES, RESPONSABLES DE MÁS DE UNA SONRISA Y
ALEGRÍA, A ELLAS GRACIAS POR BRINDARME TODO SU APOYO
INCONDICIONAL Y POR ESTAR AHÍ DÁNDOME SIEMPRE UNA RAZÓN Y UNA
VOZ DE ALIENTO CUANDO MÁS LA NECESITABA.

LOS AMOOO MUCHOOO

INFINITAS GRACIAS .

SIEMPRE VAMOS POR MAS...MUCHO MASSS!!

AGRADECIMIENTOS

A mis padres gracias por su acompañamiento constante durante todo el desarrollo del proyecto, a mi futura esposa Mile Manjarres, quien se ha convertido en mi mano derecha y guía, ayudándome siempre a tomar las mejores decisiones. Mil gracias.

A la empresa Acerías Paz del Rio por permitirme realizar mi práctica y así poder seguir creciendo profesional y personalmente.

Al ingeniero Fabio Raúl Pérez Villamil, quien fue una de las personas en brindarme todo su apoyo durante el tiempo que tuve permanencia en la universidad.

A los ingenieros Eduardo Franco Mora, Omar Eduardo Wiest, William Fernando Vianchá, José Mario Cala y Wilson Pérez, quienes con su apoyo constante lograron que mi estadía en Acerías Paz del Rio se convirtiera en una experiencia de aprendizaje agradable.

A todo el equipo de trabajo de convertidores, pues siempre estuvieron atentos durante la ejecución del proyecto.

A mis amigos Sergio David Riaño, Cristian Libardo Mora Y Juan Diego Quintero, quienes siempre estuvieron atentos a brindarme una mano en aquellos momentos en que las situaciones se ponían difíciles.

CONTENIDO

RESUMEN	13
INTRODUCCIÒN.....	12
2.MARCO REFERENCIAL.	14
2.1 PROCESO SIDERÚRGICO	14
2.2 ARRABIO.....	15
2.2.1 Pretratamiento del arrabio líquido:	16
2.3 CLASIFICACIÓN DE CHATARRAS DE ACERO SEGÚN NORMA NTC 1261	19
2.3.1Clasificación por su origen	19
2.3.1.1Chatarra interna.....	19
2.3.2 Clasificación por dimensiones de las piezas de entrega	19
2.3.3 Requisitos de composición química.....	20
2.4 CALCINACIÓN	20
2.4.1 Tipos de caliza:	21
2.4.2 Tipos de cal:	21
2.4.3 Reactividad de la cal::	22
2.4.4 Clasificación de la cal según su reactividad	22
2.5 MATERIALES CARGADOS EN EL CONVERTIDOR	23
2.5.1 Arrabio	23
2.5.2 Chatarra	24
2.5.3 Cal.....	24
2.6 PROCESO EN CONVERTIDORES	24
2.6.1 Etapa 1 oxidación del silicio y manganeso:.....	25
2.6.2 Etapa 2 de descarburación creciente.....	25
2.6.3 Etapa 3 de descarburación decreciente y oxidación del hierro.....	25
2.7 REACCIONES QUÍMICAS DE OXIDACIÓN EN EL CONVERTIDOR	25
2.8 MATERIALES REFRACTARIOS.....	26
2.8.1 Clasificación de los Refractarios.....	26
2.9 CONTROL DE PROCESO EN CONVERTIDORES	28
2.9.1 Estandarización:	28
2.9.3 Influencia de la composición química del arrabio en el proceso de soplo	29

2.10 RENDIMIENTO METÁLICO	31
2.10.1 Factores que afectan el rendimiento metálico	31
2.11 TIPOS DE ESCORIAS	31
2.11.1 Escoria oxidante	31
2.11.2 Escoria reductora	32
2.12 PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS ESCORIAS	33
2.12.1 Tensión superficial	33
2.12.2 Viscosidad	33
2.12.3 Punto de fusión	33
2.12.4 Densidad	33
3. ESTADO DEL ARTE.	34
4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	36
4.1 METODOLOGÍA	36
4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL	37
5. DESARROLLO EXPERIMENTAL	37
5.1 FASE 1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	39
5.1.1 Convertidor LWS	39
5.1.2 Chatarras	42
5.2 FASE 2 LIMPIEZA Y ADECUACIÓN DE PATIOS	46
5.3 FASE 3 CARACTERIZACIÓN DE CHATARRAS	47
5.3.1 Toma de muestras de retorno interno producido en horno cuchara	47
5.3.2 Toma de muestras de retorno interno producido en convertidores	48
5.3.3 Toma de muestra de extramuro	49
5.3.4 Toma de muestra de chatarra de arrabio	49
5.3.5 Caracterización de retorno interno de acero del horno cuchara	50
5.3.6 Acciones tomadas:	52
5.4 FASE 4 CARGUE Y PRODUCCIÓN	52
5.4.1 Secuencia de carga del convertidor	54
6. RESULTADOS OBTENIDOS.	55
6.1 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE RETORNO INTERNO DE ACERO DE HORNO CUCHARA	55
6.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE RETORNO INTERNO DE ACERO DE CONVERTIDORES	56
6.3 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE CHATARRA DE ARRABIO	56

6.4 VARIACIÓN DEL RENDIMIENTO METÁLICO EN FUNCIÓN DEL MIX Y PORCENTAJES DE SILICIO EN EL ARRABIO	57
6.5 COLADAS CON BAJO RENDIMIENTO METÁLICO	70
6.6 PESO PROMEDIO OBTENIDO POR COLADA EN FUNCIÓN DE LA VARIACIÓN DEL MIX.....	71
6.7 CORRELACIÓN DEL RENDIMIENTO METÁLICO Y LA CONCENTRACIONDE SILICIO EN EL ARRABIO	72
6.7.1 Influencia del silicio en el rendimiento metálico cuando se tiene arrabios con concentraciones de silicio menores a 0.4%.	72
6.7.2 Influencia del silicio en el rendimiento metálico cuando se tiene arrabios con concentraciones de silicio mayores a 1,0%.....	73
6.8 PERDIDAS GENERADAS POR DESESCORIADO DEL CONVERTIDOR.....	74
6.9 MODIFICACIÓN AL PATRÓN OPERACIONAL DE SOPLO DE OXIGENO EN CONVERTIDORES	75
6.9.1 Resultados obtenidos con perfil 3	76
7. CONCLUSIONES.	77
8. OPORTUNIDADES DE MEJORA.	79
BIBLIOGRAFÍA.....	80
ANEXOS	82

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los tipos de arrabio producidos en el alto horno.	15
Tabla 2. Clasificación de chatarras por sus dimensiones.	20
Tabla 3. Requisitos de elementos residuales en chatarras de acero al carbono.	20
Tabla 4. Tipos de rocas calizas.	21
Tabla 5. Clasificación de la cal según su reactividad Whurer.	23
Tabla 6. Clasificación de arrabio en Acerías Paz del Río.	23
Tabla 7. Puntos de fusión de algunos refractarios.	27
Tabla 8. Composición química típica de escoria producida en el horno eléctrico.	32
Tabla 9. Porcentaje de participación de las chatarras empleado en cada Mix.	37
Tabla 10. Composición química elemental chatarra de retorno interno del horno cuchara.	55
Tabla 11. Composición química elemental chatarra de retorno interno producida en convertidores.	56
Tabla 12. Composición química elemental chatarra de arrabio lingoteado.	56
Tabla 13. Composición química elemental chatarra de extramuro.	57
Tabla 14. Cantidad de coladas realizadas por cada Mix.	57
Tabla 15. Composición química promedio de arrabio para Mix 1.	59
Tabla 16. Composición química promedio de arrabio para Mix 1.	59
Tabla 17. Composición química promedio de arrabio para Mix 1.	60
Tabla 18. Composición química promedio de arrabio para Mix 1.	61
Tabla 19. Composición química promedio de arrabio para Mix 1.	62
Tabla 20. Composición química promedio de arrabio para Mix 2.	63
Tabla 21. Composición química promedio de arrabio para Mix 3.	64
Tabla 22. Composición química promedio de arrabio para Mix 4.	66
Tabla 23. Composición química promedio de arrabio para Mix 5.	67
Tabla 24. Composición química promedio de arrabio para Mix 4.	68
Tabla 25. Composición química promedio de arrabio para Mix 4.	69
Tabla 27. Composición química del arrabio aplicando el perfil 3 de soplo.	76
Tabla 28. Resultados obtenidos para Mix 1.	82
Tabla 29. Resultados obtenidos para Mix 2.	83
Tabla 30. Resultados obtenidos para Mix 3.	83
Tabla 31. Resultados obtenidos para Mix 4.	84
Tabla 32. Resultados obtenido para Mix 5.	84
Tabla 33. Resultados obtenidos para Mix 6.	85
Tabla 34. Resultados obtenidos para Mix 7.	86

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. Mix 1 67% Retorno Fino – 33% Retorno Grueso de Convertidores Y 3000 Kg Chatarra De Arrabio.....	58
Grafica 2. Variación del Rendimiento Metálico en Función de los Porcentajes de Si En El Arrabio Y % FeO En La Escoria Para Mix 1.	59
Grafica 3. Variación Del Rendimiento Metálico En Función De Los Porcentajes de Si En El Arrabio Y % FeO En La Escoria Para Mix 1.	60
Grafica 4. Variación Del Rendimiento Metálico En Función De Los Porcentajes de Si En El Arrabio Y % FeO En La Escoria Para Mix 1.	61
Grafica 5. Variación Del Rendimiento Metálico En Función De Los Porcentajes de Si En El Arrabio Y % FeO En La Escoria Para Mix 1.	62
Grafica 6. Mix 2 50% Retorno Fino – 50% Retorno Grueso De Convertidores, 3000 Kg Chatarra De Arrabio Y 1000 Kg Extramuro.	63
Grafica 7. Mix 3 80% Retorno Fino – 20% Retorno Grueso de Convertidores, 3000 Kg chatarra de arrabio y 1000 Kg extramuro.....	64
Grafica 9 . Mix 4 60% retorno fino – 40% retorno grueso tipo I, 3000 Kg chatarra de arrabio y 1000 Kg extramuro.	65
Grafica 10. Mix 5 45% retorno fino – 55% retorno grueso de convertidores, 2000 Kg chatarra de arrabio y 1000 Kg de chatarra comprada.	67
Grafica 11 . Mix 6 75% retorno fino – 25% retorno grueso de convertidores y 3000 Kg chatarra de arrabio.....	68
Grafica 12 . Mix 7 50% Retorno Fino – 50% Retorno Grueso Tipo I, 2000 Kg De Chatarra Comprada Y 2000 Kg De Chatarra De Arrabio.	69
Grafica 13. Número total de coladas con rendimiento metálico menor a 82%.	70
Grafica 14. Pesos promedio de colada y tiempos de soplo según el Mix empleado.	71
Grafica 15. Influencia del silicio en el rendimiento metálico en concentraciones menores al 0,4%.	72
Grafica 16. Influencia del silicio en el rendimiento metálico en concentraciones menores al 1,0%.	73
Grafica 17. Pérdidas de acero generadas por desescoriado en los últimos seis meses. ..	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo en la producción de acero.	15
Figura 2. Procesos de desulfuración del arrabio líquido.	17
Figura 3. Concentración de fósforo en función de las concentraciones de silicio.	18
Figura 4. Factores y necesidades para estandarizar.	29
Figura 5. Convertidor LWS.	39
Figura 6. Fondo del convertidor LWS.	40
Figura 7. Funcionamiento de toberas convertidor LWS.	41
Figura 8. Chatarra propia.	42
Figura 9. Chatarra comprada.	43
Figura 10. Retorno interno de acero mayor a 400mm.	44
Figura 11. Retorno interno de acero menor a 400 mm.	44
Figura 12. Lingotamiento de arrabio (a) y chatarra de arrabio (b).	45
Figura 13. Chatarra de extramuro.	46
Figura 14. Toma de muestras de chatarra de retorno interno de acero producido en el horno cuchara.	47
Figura 15. Corte de muestras de retorno interno de acero producido en horno cuchara.	48
Figura 16. Toma de muestra en etapa de desescoriado del convertidor.	49
Figura 17. Toma de muestras de chatarra de arrabio en pilas.	50
Figura 18. Medición de impurezas en retorno interno de acero producido en horno cuchara.	51
Figura 19. Limpieza mecánica de retorno interno de acero.	52
Figura 20. Cesta de chatarra empleada en convertidores.	53
Figura 21. Secuencia de cargue de chatarra empleada en calidad sismoresistente.	53
Figura 22. Cuchara para cargar arrabio.	54
Figura 23. Perfiles de sople para convertidor nuevo.	75
Figura 24. Inicio de desarrollo fase 2.	87
Figura 25. Toma muestras de chatarra de arrabio en pilas.	87
Figura 26. Muestras de chatarra de arrabio obtenidas en cada punto.	88
Figura 27. Muestras de retorno tipo I para análisis químico.	88
Figura 28. Modificación patrón operacional de sople de oxígeno en convertidores.	89
Figura 29. Estandarización de chatarras de retorno interno de acero.	89

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza la caracterización química de las chatarras de retorno interno de acero, chatarra de arrabio, chatarra extramuro y chatarra comprada, empleadas en la fabricación de acero sismoresistente de Acerías Paz del Río, la clasificación incluye la identificación de retorno tipo I aquella chatarra producida en el foso del horno cuchara, ya que contiene manganeso en intervalos que pueden ir desde 0,9272 a 1,02. Retorno tipo II, a aquel retorno producido durante la etapa de desescoriado, debido a que contiene elementos aleantes menores a 1,0% y retorno tipo III, a aquel proveniente de separadores magnéticos, lo anterior con el fin de adicionar a la carga del convertidor y revisar la variación del rendimiento metálico.

Una vez realizada esta clasificación, se prepararon unas mezclas denominadas Mix de chatarras, encontrándose que los Mix que contienen chatarra de extramuro, tienen los rendimientos metálicos más bajos, al igual que los pesos promedio de colada.

También se encontró que para arrabios líquidos con concentraciones de silicio menores a 0,4%, el rendimiento metálico se veía afectado en un 38,3%, debido a los niveles elevados de óxido de hierro presentes en la escoria, con un promedio de 27,93%. Para arrabios líquidos con concentraciones de silicio mayores a 1,0%, el bajo rendimiento metálico se debe en un 15,3% debido a la pérdida de carga metálica por proyecciones.

Para finalizar, con la aplicación del perfil 3 que gobierna el soplo para convertidores nuevos que lleven menos de 50 coladas, la carga metálica máxima al igual que el balance térmico, se obtiene un índice de rendimiento metálico promedio de 83,3%.

INTRODUCCIÓN

Las plantas siderúrgicas integradas para producción de acero a nivel mundial emplean diferentes índices de eficiencia para cada uno de sus procesos, donde se debe mantener un control preciso sobre cada uno de las etapas de producción y a su vez los indicadores permiten evaluar el grado de desempeño de una empresa. Uno de los índices más importantes en la fabricación de acero, es el de rendimiento metálico, el cual proporciona una idea clara acerca de la calidad de los diferentes procesos de fabricación de acero, ya sea, vía horno eléctrico o convertidor.

Para la empresa ACERÍAS PAZ DEL RÍO, es muy importante mantener un índice de rendimiento metálico constante al combinar arrabio más chatarra en el convertidor, debido a que se puede tener mayor control en el acero que se produce semanalmente, a su vez es posible garantizar la cantidad de palanquilla que se requieren en los procesos de laminación y además se contribuye a la disminución en los costos de mantenimiento de refractarios de las cucharas y reactores de fusión, debido a que el mantenimiento se realiza de acuerdo a un número determinado de coladas, sin tener en cuenta la cantidad de acero que estos producen.

Debido a que la chatarra constituye del 30%-25% de la carga metálica en los procesos de conversión de acero, se realizó la caracterización química de cada uno de los tipos de chatarras empleadas en la fabricación de acero sismoresistente, con el fin de estandarizar las materias primas conocidas como retorno interno de acero de acuerdo a la cantidad de elementos aleantes que contienen cada una de estas, realizando a su vez seguimientos a la variación del índice de rendimiento metálico, con el fin de lograr la mezcla ideal de chatarras, el cual involucre un índice de rendimiento metálico constante, teniendo presente las pérdidas propias del proceso.

El índice de rendimiento metálico, también está influenciado por parámetros operativas, como por ejemplo el control de los flujos de oxígeno durante el soplo, lo cual se implementó como estrategia, mejorar el control operativo durante el proceso de soplo en los operarios de convertidores.

2. MARCO REFERENCIAL.

2.1 PROCESO SIDERÚRGICO

El proceso siderúrgico de la empresa Acerías Paz del Río, es una operación integrada, que comienza en el área de fabricación primaria, en donde los minerales extraídos de la tierra son procesados a elevadas temperaturas en el alto horno, obteniéndose un hierro fundido denominado arrabio, el cual presenta una composición química muy variable colada a colada. Este arrabio líquido producido en el alto horno, es enviado con una temperatura de colado que puede ir de los 1300° C a los 1400 ° C. Una vez el arrabio líquido se encuentra en las cucharas, este se transporta hasta el área de convertidores, en donde se realiza la eliminación de las impurezas mediante la inyección de oxígeno en un reactor denominado convertidor, el cual transforma el arrabio líquido en acero, a una temperatura promedio de colado de 1650°C-1680°C.

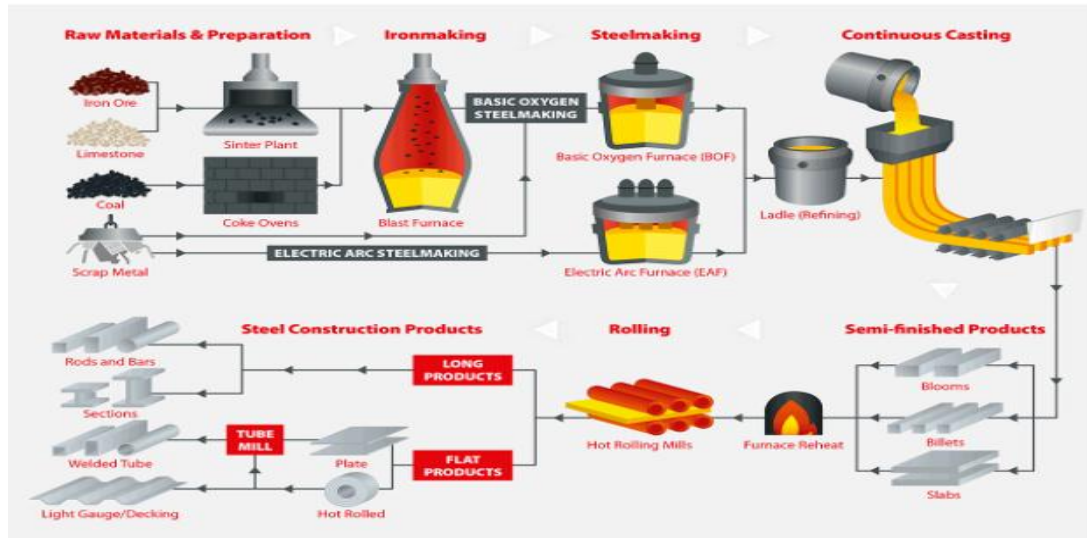
Por otro lado dentro del proceso siderúrgico, las empresas producen acero por otra vía y comúnmente es un horno eléctrico de arco, el cual produce acero de primera a partir de chatarra fragmentada, chatarra especial y retornos internos.

Una vez se tiene el acero obtenido en los dos procesos anteriormente mencionados, el acero es enviado al horno cuchara en donde se realizan ajustes a la composición química y a la temperatura, obteniendo un acero óptimo para el proceso de solidificación en la máquina de colada continua.

De allí se transporta la palanquilla, planchones o tochos para las naves de laminación, en donde de acuerdo a la geometría del producto terminado se envía a los trenes de laminación, siendo sometidas antes a un proceso de precalentamiento en un horno de gas o de inducción, con el fin de obtener temperaturas cercanas a los 1100°C para realizar su laminación en caliente, esto con el fin de alcanzar las propiedades mecánicas y de forma deseadas.

Todo este proceso se puede evidenciar a continuación en la figura 1.

Figura 1. Diagrama de flujo para la producción de acero.



Fuente: www.newsteelconstruction.com. Consultado (21 de Diciembre de 2017).

2.2 ARRABIO

El arrabio es también denominado hierro de primera fusión, que se obtiene del tratamiento de la mezcla de minerales de hierro, coque y caliza, a través de la reducción-fusión en un alto horno. Este material, se caracteriza por tener elevados porcentajes de Carbono, silicio, manganeso y fósforo, los cuales pueden ir de 2,5% a 3,8% - 0,5-1,5% - 1,5% a 2,7% y 0,3 % a 1,1% respectivamente, lo que lo hace equipararse en sus propiedades a una fundición, dependiendo esta composición química de cómo se opera el horno y las materias primas que se tienen disponibles. El arrabio líquido es la materia prima fundamental en el proceso de convertidores, ya que proporciona el 70-75% de la carga metálica. La clasificación internacional de arrabios se observa en la siguiente tabla 1, según la norma hindú IS13502 "Pig Iron Specification".

Tabla 1. Clasificación de los tipos de arrabio producidos en el alto horno.

Tipo I (%Si)	Tipo II (%Si)	Tipo III (%Si)
<0,75	> 0,75 <1,25	>1,25 <1,75

Fuente: Norma Hindu IS 13502 Pig iron specification.

Las siderúrgicas integradas dentro de sus procesos de producción cuentan también con estaciones en las cuales se realiza un pretratamiento al arrabio líquido, con el

fin de disminuir algunas impurezas como azufre, fosforo y silicio, para disminuir el desgaste en los refractarios del convertidor y los tiempos de proceso.

2.2.1 Pretratamiento del arrabio líquido: El pretratamiento del arrabio líquido es una práctica que se ha desarrollado desde hace mucho tiempo, la cual tiene como objetivo principal disminuir las concentraciones de elementos residuales no deseados, enfocándose principalmente en el azufre, debido a que por la naturaleza del proceso en convertidores, la eliminación de este elemento en el acero es muy baja.

2.2.1.1 Desulfuración del arrabio:El proceso de desulfuración del arrabio se basa en la teoría de las afinidades de los elementos por el azufre y el oxígeno principalmente, siendo la condición más importante en el proceso de desulfuración que el agente desulfurante empleado debe ser inestable y a su vez debe tener una alta estabilidad para reaccionar y formar sulfuros. Las condiciones termodinámicas adecuadas para realizar este proceso son:

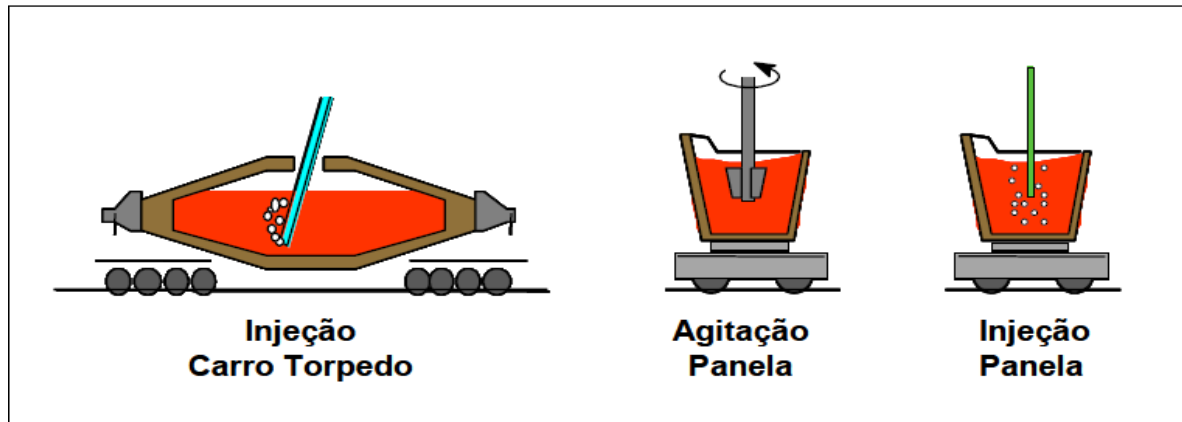
- El sistema debe ser de tipo reductor.
- El arrabio líquido deberá tener concentraciones bajas de oxígeno disuelto.
- A mayor temperatura de colado, las concentraciones de azufre en el arrabio disminuyen de forma exponencial.
- Se debe tener una buena condición de agitación para que la escoria reaccione con el arrabio líquido.

En este proceso, el agente desulfurante mas empleado es la cal, debido a su bajo costo. La forma de reaccionar de la cal para realizar la desulfuración del arrabio, consiste en que esta forma sulfuro de calcio (CaS) el cual pasa a conformar la escoria y el oxígeno liberado, reacciona con el carbono disuelto en el arrabio para formar burbujas de CO^1 .

Este proceso intermedio de desulfuración del arrabio, se realiza en los recipientes en los cuales se transporta el arrabio líquido. Esta operación se ilustra a continuación en la figura 2.

¹DIASBARAO .Celso. Pre-Tratamiento De Gusa Líquido. Brazil.2002.p.2-12

Figura 2. Procesos de desulfuración del arrabio líquido.



Fuente: Libro pré-tratamento de gusa líquido.

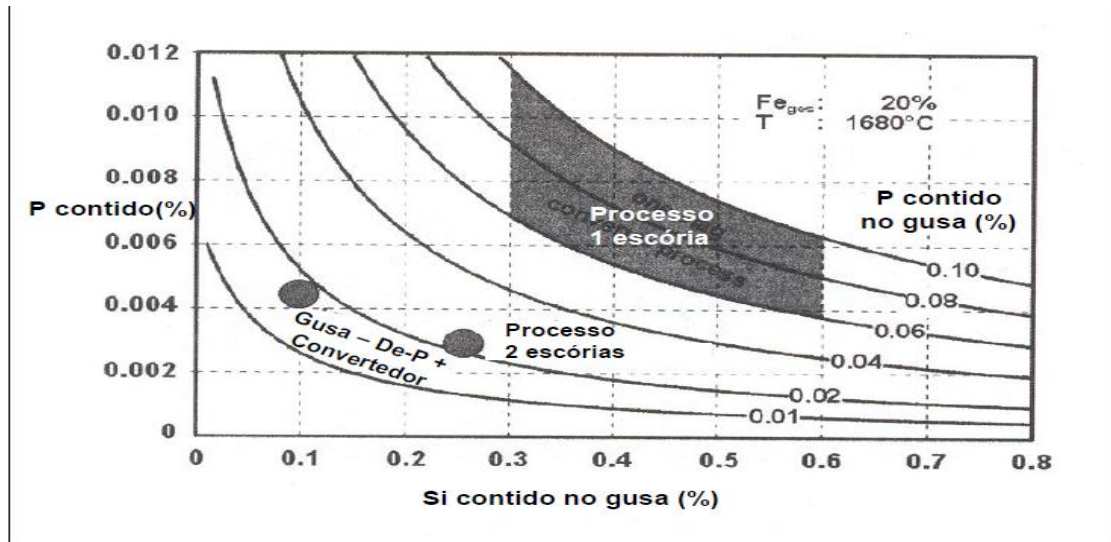
2.2.1.2 Defosforación del arrabio: El fósforo presente en el arrabio líquido, es suministrado por las materias primas cargadas al alto horno, siendo el mayor aporte de este elemento el mineral de hierro. Debido a la naturaleza reductora del alto horno, la eliminación de este elemento en el proceso es nula, por lo cual se hace necesario realizar una defosforación al proceso previo de convertidores en donde las condiciones termodinámicas para realizar este proceso son:

- El sistema debe ser de tipo oxidante.
- Se debe tener en el sistema una temperatura lo más baja posible para volver eficiente la oxidación del fósforo.
- Se debe tener una buena agitación para que los óxidos de hierro presentes en la escoria reaccionen con el fósforo.
- Se debe tener un elevado volumen de escoria.

Elevadas concentraciones de óxido de calcio CaO .

Concentraciones de fósforo entre 40 y 100 ppm pueden ser obtenidas actualmente en el proceso de convertidores, dependiendo de las concentraciones de silicio y fósforo presentes en el arrabio líquido. La concentración de silicio determina la cantidad de escoria al igual que la cantidad de P_2O_5 formado durante la defosforación. A continuación en la figura 3, se muestran las variaciones de las concentraciones de fósforo en función de las concentraciones de silicio en cada uno de los procesos.

Figura 3. Concentración de fósforo en función de las concentraciones de silicio.



Fuente: Libro pré-tratamiento de gusa líquido.

2.2.1.3 Desiliciado del arrabio: El silicio es uno de los elementos que presenta mayor aporte térmico en el proceso de convertidores, pero también es el elemento que presenta mayor problema cuando sus concentraciones en el arrabio líquido superan el 0,7%. Cuando las concentraciones de silicio son mayores a este valor, los índices de proyecciones, los tiempos promedios de proceso y los consumos de cal aumentan, provocando que el proceso se vuelva ineficiente. Con el fin de suministrar al convertidor un arrabio óptimo, en las plantas se ha optado por realizar desiliciado en las cucharas de arrabio, empleando técnicas tales como la adición de óxidos y fundentes tales como laminilla (FeO), inyección de óxidos por el fondo de la cuchara y soplo de oxígeno por medio de lanzas. La diferencia entre una técnica y otra, es la eficiencia o el grado de desiliciado que se puede lograr con cada una, obteniendo la eficiencia más alta cuando se realiza el desiliciado cuando se inyecta oxígeno por medio de lanzas, con la desventaja que aumenta el desgaste del refractario debido a la turbulencia generada durante la operación.

Esta operación se basa en la elevada afinidad que tiene el silicio por el oxígeno, en donde el silicio presente en el arrabio se elimina bajo la forma de SiO_2 que va a formar parte de la escoria, esta oxidación a su vez provoca un aumento de la temperatura.

Cuando se realiza el desiliciado por medio de la o inyección de óxidos, para obtener una alta eficiencia en el proceso, se debe tener en cuenta la granulometría y composición química de los fundentes, siendo en lo posible que estos tengan una alta concentración de wustita (FeO), favorecido a su vez por altas temperaturas de colada en el arrabio..

Una vez se cuenta con un arrabio con condiciones óptimas, se lleva al proceso de acería, la cual está conformada y equipada con convertidores, en los cuales se realiza el afino del arrabio hasta alcanzar la temperatura y composición química exigida.

2.3 CLASIFICACIÓN DE CHATARRAS DE ACERO SEGÚN NORMA NTC 1261

En esta norma se realiza la clasificación de la chatarra, teniendo en cuentas los siguientes aspectos:

2.3.1 Clasificación por su origen: Se clasifica así:

2.3.1.1 Chatarra interna: Es aquella chatarra propia generada por la empresa, ya sea en los procesos de fundición, forja o maquinado. Por ejemplo en el caso de fundición de piezas, correspondería a aquella chatarra producida en el diseño de los sistemas de alimentación.

- Chatarra de transformación industrial: Es la chatarra generada debido a inconformismo en cuanto a la calidad de los productos.
- Chatarra en recuperación: Es chatarra, la cual corresponde a materiales los cuales no se encuentran en uso o funcionamiento.

2.3.2 Clasificación por dimensiones de las piezas de entrega: En esta clasificación, la chatarra se subdivide en 4 grupos (A,B,C,D), teniendo en cuenta el espesor de las piezas. Esta clasificación del tamaño de la chatarra se considera como un aspecto importante debido a que cada proceso de producción de acero presenta aspectos críticos en el diseño de los hornos de fusión, como por ejemplo el tamaño de la boca del convertidor, en donde al tenerse chatarra sobredimensionada esta quedara atascada en la boca del convertidor, provocando pérdidas de tiempo en producción. Por otro lado en el horno eléctrico si se carga chatarra de dimensiones grandes, estará tardando más tiempo en fundir y a su vez puede provocar la ruptura de electrodos. Otra de las principales ventajas de realizar la clasificación de las chatarras según sus dimensiones, es que se tiene un mayor control con respecto a los elementos residuales que son principalmente cobre, níquel y cromo.

En la tabla 2, se presenta cada grupo con sus respectivas dimensiones².

² INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Clasificación de chatarras de acero norma 1261, primera edición. Bogotá. ICONTEC, 1976.

Tabla 2. Clasificación de chatarras por sus dimensiones.

CLASIFICACIÓN DE CHATARRA SEGÚN DIMENSIONES			
Tipo A	A		
	Chatarra con dimensiones mayores a 1,50m x 0,50m, que requieren corte para su uso.		
Tipo B	B-1	B-2	B-3
	Chatarra con 5mm o más de espesor, con dimensiones máximas de 1,50m x 0,50m.	Chatarra con 6 mm o más de espesor, con dimensiones máximas de 0,50m x 0,50m.	Chatarra con 6 mm o más de espesor, con dimensiones máximas de 0,30m x 0,30m.
Tipo C	C-1	C-2	C-3
	Chatarra con espesor menor a 6 mm y con dimensiones máximas de 1,50m x 0,50m	Chatarra con espesor menor a 6 mm y con dimensiones máximas de 0,50m x 0,50m	Chatarra con espesor menor a 6 mm y con dimensiones máximas de 0,30m x 0,30m
Tipo D	D		
	Chatarra de acero compuesta por virutas.		

Fuente: Norma NTC 1261 Clasificación de chatarras de acero.

2.3.3 Requisitos de composición química

Tabla 3. Requisitos de elementos residuales en chatarras de acero al carbono.

Elemento	Límite Máximo %
Ni	0,15
Cr	0,2
Mo	0,1
Mn	1,65
Cu	0,2
Ni+Cr+Mo+Cu	0,6

Fuente: Norma NTC 1261 Clasificación de chatarras de acero.

Es importante mantener el contenido de residuales lo más bajo posible, debido a que estos elementos son difíciles de eliminar del baño debido a su baja afinidad con el oxígeno.

2.4 CALCINACIÓN

Consiste en realizar la descomposición química de la caliza, llevando la roca hasta una temperatura de 900°C, en la cual se produce una reacción de descomposición, dando como productos la cal (CaO) y dióxido de carbono (CO₂), cabe resaltar que esta reacción es netamente endotérmica. La reacción de descomposición de la caliza, se muestra a continuación:



2.4.1 Tipos de caliza: A continuación en la tabla 4 se observa los tipos de piedra caliza que se pueden encontrar en la naturaleza.

Tabla 4. Tipos de rocas calizas.

Material	Formula Química	Peso Molecular	Peso Específico (g/cm ³)	Dureza (Mohs)
Calcita	CaCO ₃	100	2,72	3,0
Magnesita	MgCO ₃	84,3	3,01	3,5-4,5
Dolomita	CaCO ₃ .MgCO ₃	184,3	2,84	3,5-4,0
Aragonita	CaCO ₃	100,1	2,94	3,5-4,0

Fuente: Cartilla fundamentos de calcinación.

Uno de los factores más importantes a tener en cuenta para la selección del tipo de piedra caliza a emplear en el proceso de calcinación es el contenido de impurezas. En la norma ASTM C 25-83 (nivel permisible de impurezas en calizas), se establecen los siguientes criterios.

- % SiO₂ presente en la roca caliza: 1,0 a 2,5 como máximo.
- % CaO: 51,0-54,0
- % S: Menor a 0,1.
- % R₂O₃: 0,5 a 1,5

El R₂O₃ en la caliza hace referencia a los cerámicos abrasivos tales como el óxido férrico (Fe₂O₃) y la alúmina (Al₂O₃).

2.4.2 Tipos de cal: De acuerdo al grado de cocción o descomposición que sufre la cal en los hornos, se distinguen tres tipos de cal, los cuales son cal cruda, cal recocida y cal reactiva.

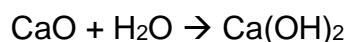
- Cal cruda: Se obtiene cuando el tiempo de retención de la carga o la temperatura en la zona de calcinación son muy bajas. Se caracteriza por tener una capa externa bien calcinada (coloración blanca), con un núcleo de caliza. Este tipo de cal presenta una reactividad, la cual depende del grado de cocción que haya tenido la roca, además de esto, si se emplea en procesos siderúrgicos, esta tiende a proporcionar una elevada pérdida térmica.
- Cal recocida: Los carbonatos presentes en la caliza se han descompuesto totalmente y por un exceso en la temperatura de calcinación o tiempo de residencia de la carga, la cal sufre una transformación en su estructura cristalina,

provocando que su reactividad disminuya. Este tipo de cal se caracteriza por tener poros demasiados grandes, presenta una coloración negra, sus granos cristalinos son grandes y el volumen total de poros es pequeño. Este tipo de cal siempre permanece inerte en los procesos metalúrgicos, por lo cual se considera una cal inservible.

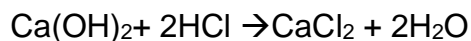
- **Cal Reactiva:** Esta cal es producto de un proceso de calcinación óptimo y muy bien controlado, en el cual las temperaturas y los tiempos de residencia de la carga fueron óptimos. Esta cal se caracteriza por presentar una coloración blanca cremosa, posee poros pequeños, el volumen total de poros es elevado y tiene una gran reactividad química.

2.4.3 Reactividad de la cal: La reactividad de la cal se mide mediante proceso de Whurer, el cual consiste en tomar 50 gramos de cal, la cual tiene una granulometría variable de 1 a 10 mm y disolverla en un vaso de precipitado de 2 litros de agua destilada con 10 mililitros de fenolftaleína, este recipiente se somete a un calentamiento hasta obtener 40°C de temperatura con un agitación constante, una vez se cumple con las condición anterior, se realiza la titulación con una solución de ácido clorhídrico HCl con una concentración de 4 N, deteniéndola al llegar a la neutralidad de la solución, con el fin de evitar que esta se vuelva acida y ataque los carbonatos, proporcionando un análisis erróneo. Las reacciones ocurridas durante esta titulación son las siguientes:

En primera medida se produce la hidratación de la cal



Enseguida de que se agrega el ácido clorhídrico, se empieza a formar el cloruro el calcio, el cual proporciona el índice reactividad³.



2.4.4 Clasificación de la cal según su reactividad

En la tabla 5, se muestra la clasificación y usos de la cal según su reactividad.

³ Fundamentos del proceso de calcinación. Cartilla de capacitación. Belencito. Acerías paz del rio, 2007.p.5-45.

Tabla 5. Clasificación de la cal según su reactividad Whurer.

Reactividad de la cal		
N. Clase	Consumo de HCl	Usos
Tipo I	Mayor de 350 ml	Corresponde a la cal en polvo que se inyecta a los convertidores por medio de las toberas, esta cal tiene una granulometría promedio que puede variar de 0 a 2 mm, con una composición química promedio de CaO en un 87% mínimo.
Tipo II	350-280	Empleada como cal para soplo, cuando las composiciones químicas del arrabio son elevadas, contribuyendo a mantener un perfil térmico adecuado del convertidor.
Tipo III	280-210	Empleada como cal de barrera, que ayuda a evitar el paso de escoria durante el proceso de colado en la cuchara.
Tipo IV	menor de 210 ml	No presenta uso alguno para el proceso en convertidores, por lo cual se envía al alto horno.

Fuente: Cartilla fundamentos de calcinación

2.5 MATERIALES CARGADOS EN EL CONVERTIDOR

2.5.1 Arrabio

El arrabio se clasifica de acuerdo al porcentaje de silicio que contiene el arrabio, existiendo tres tipos de arrabio producidos en la empresa Acerías Paz del Río.

Tabla 6. Clasificación de arrabio en Acerías Paz del Río.

Tipo I (%Si)	Tipo II (%Si)	No Conforme (%Si)
0,4 a 0,6	0,3 a 0,39 0,81 a 1,25	<0,3 >1,25

Fuente: Documentación Acerías Paz del Río.

Para un proceso ideal desarrollado en el proceso del convertidor, el arrabio tipo I, es el que presenta mayor beneficio, debido a que con estos porcentajes de silicio, se garantiza mayor tiempo de duración del revestimiento, además de ello el control operativo que se tiene en el proceso es mayor debido a que el índice de generación de proyecciones disminuye y los tiempos promedio de soplo se mantienen constantes. Además de ello, con estos porcentajes de silicio en el arrabio, se garantiza un buen balance térmico en el convertidor.

El porcentaje de silicio en el arrabio, sirve como guía en el proceso de convertidores, debido a que este elemento va correlacionado con el carbono y el manganeso, en

donde a medida que aumenta la concentración de silicio en el arrabio, la concentración de carbono y manganeso también tiende a aumentar, provocando una alteración en el balance térmico del convertidor, además de ello si aumenta la concentración de estos elementos, la concentración de hierro metálico en el arrabio disminuye, afectando el peso promedio de las coladas obtenidas.

El índice de participación del arrabio líquido en los convertidores es del 75%, variando este índice en función de los contenidos de la composición química del arrabio y la cantidad de chatarra que se disponga en el momento.

2.5.2 Chatarra: La chatarra en el proceso de convertidores cumple dos funciones esenciales, las cuales son, refrigerar el baño metálico con el fin de que las reacciones producidas en el convertidor se mantengan en un rango de temperatura de 1650 a 1680°C y como material a portante al baño metálico. Las chatarras cargadas al convertidor pueden ser chatarras de generación propia, las cuales se producen por incumplimiento en cuanto al grado de calidad de un producto terminado, semiterminado como por ejemplo las palanquillas rechazadas por diferencias en sus diagonales, las barras o rollos rechazados por incumplimiento en sus valores de resistencia mecánica etc. También se pueden cargar aquellas chatarras denominadas de retorno interno, las cuales se producen en los sobrantes de las cucharas y los distribuidores o tundish. En este proceso no se recomienda usar chatarra fragmentada, debido a que por sus dimensiones pequeñas, presenta un poder refrigerante muy pobre.

2.5.3 Cal: Es un compuesto básico, el cual se emplea como fundente en los procesos de fabricación de acero, debido a que contribuye al cuidado del material refractario de los hornos y ayuda a neutralizar los compuestos de óxidos ácidos presente en las escorias. En convertidores de acero en los cuales se inyecta oxígeno por la parte inferior, se suele inyectar cal en polvo por medio de las toberas para controlar el soplo cuando el índice de proyecciones aumenta, sobre todo en la etapa de descarburación creciente.

2.6 PROCESO EN CONVERTIDORES

Es un proceso de afino, el cual consiste en la disminución de impurezas del arrabio tales como fósforo, silicio, manganeso y carbono principalmente, la cual se logra mediante la inyección de oxígeno el cual tiene una pureza del 99.5%. En este proceso, la carga metálica está conformada por arrabio proveniente del alto horno,

chatarra que tiene las funciones d⁴e aportar al baño metálico y mantener un perfil térmico estable dentro del convertidor, cal para neutralizar los elementos eliminados en el soplo y a su vez contribuye a cuidar el refractario del horno.

En el proceso de afino, se presentan una serie de reacciones químicas, las cuales siguen un orden, de acuerdo a la afinidad que tienen los elementos por el oxígeno, distinguiéndose así tres etapas en el proceso, estas etapas son:

2.6.1 Etapa 1 oxidación del silicio y manganeso: El silicio que contiene el arrabio, se elimina bajo la forma de SiO₂ reacción química (1), a su vez el oxígeno reacciona con el carbono, provocando que durante el inicio del proceso, se presenten algunas proyecciones. Seguido de esto, la sílice formada anteriormente, reacciona con el óxido de calcio CaO (reacción 8), para fijarse bajo la forma de silicato dicálcico, garantizado así que el silicio no retorne al baño metálico. A su vez, se produce la oxidación del manganeso, como lo indica la ecuación (4).

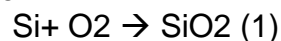
2.6.2 Etapa 2 de descarburación creciente: Se produce la disminución del carbono por combustión, quemándose en CO y CO₂ (reacciones 2 y 3). Esta etapa determina el tiempo de proceso, además de ello en esta etapa, se produce la formación de la escoria espumosa, la cual es la encargada de proyectar material fuera del convertidor, siendo necesario controlar muy bien los flujos de oxígeno. Esta etapa se puede distinguir en el proceso, debido a la aparición de llama sobre la boca del convertidor.

2.6.3 Etapa 3 de descarburación decreciente y oxidación del hierro: Cuando el porcentaje de carbono en el baño es menor a 0.8, la velocidad de descarburación disminuye, produciéndose la oxidación del hierro metálico a óxido de hierro FeO; ecuación (6).

2.7 REACCIONES QUÍMICAS DE OXIDACIÓN EN EL CONVERTIDOR

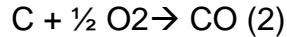
Las reacciones químicas que se producen en el proceso de afino, se muestran a continuación en forma secuencial de cómo van ocurriendo, cabe mencionar que estas reacciones son exotérmicas, es decir, suministran energía en forma de calor al sistema. Las reacciones que más aportan calor al sistema son la (1), (2) y (3)

Reacción de oxidación del silicio

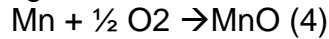


⁴ Basic OxygenSteelmaking (En línea). Fecha de consulta 19 de septiembre del 2017). Disponible en (<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema4.FabricacionAcero.ConvertidorLD.pdf>)

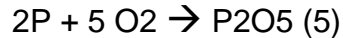
Reacción de oxidación del carbono



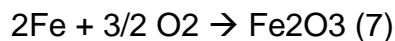
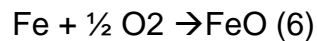
Reacción de oxidación del manganeso



Reacción de oxidación del fósforo;



Reacción de oxidación del hierro; La reacción (6), es la encargada de proporcionar el hierro para la formación de la escoria oxidante, mientras la reacción (7), corresponde a la pérdida de hierro en los humos producidos durante el soplo, esta reacción presenta una coloración rojiza.



2.8 MATERIALES REFRACTARIOS

Es un material cerámico obtenido por la mezcla generalmente de óxidos ácidos, básicos o neutros, los cuales sufren un proceso de cocción a elevadas temperaturas, empleando diferentes tipos de materiales aglomerantes o ligas, de acuerdo a la aplicación que se le va a dar al refractario. Estos materiales refractarios se caracterizan por:

- Poseen elevados puntos de fusión.
- Tienen buena resistencia al choque térmico.
- Poseen alta resistencia al desgaste generada por abrasión.
- Son frágiles y poco dúctiles.
- Estabilidad volumétrica a elevadas temperaturas de operación.
- Baja conductividad térmica y eléctrica.

2.8.1 Clasificación de los Refractarios: Los materiales refractarios se suelen clasificar de acuerdo a su composición química, existiendo tres clases de ladrillo refractarios, los cuales son:

2.8.1.1 Refractarios ácidos: Son aquellos ladrillos refractarios, los cuales tienen un porcentaje de sílice (SiO_2) igual o mayor al 35%. Dentro de este grupo de ladrillos refractarios se encuentran los ladrillos silíceos aluminosos, los cuales pueden contener en su composición química hasta un 32% de alúmina (Al_2O_3) y 45% de sílice. Estos ladrillos refractarios se encuentran presentes en cucharas de manejo

de arrabio, altos hornos, como revestimiento de respaldo en los distribuidores (tundish) y baterías de coque⁵.

2.8.1.2 Refractarios básicos: Son refractarios, que contiene dos compuestos principales, los cuales son óxido de calcio (CaO) y óxido de magnesio (MgO). Dentro de este grupo de ladrillos refractarios, se tienen tres familias de ladrillos refractarios básicos, los cuales son:

- Ladrillos refractarios dolomíticos, los cuales contienen CaO en un 55% y MgO en un 40%.
- Ladrillos refractarios a base de magnesita (90% de MgO).
- Ladrillos refractarios cromo-magnesiano, que presentan en su composición química una variación de óxido de cromo (Cr₂O₃), la cual puede ir de 6% al 30% y MgO del 50% al 60%.

Estos ladrillos refractarios se emplean en, cucharas de manejo de acero, hornos eléctricos, válvulas deslizantes, tapones porosos y materiales proyectable.

2.8.1.3 Refractarios neutros: Se subdividen en dos grupos este tipo de refractarios, los cuales son:

- Ladrillos refractarios aluminosos, a base de alúmina, la cual se encuentra en el ladrillo en una proporción mayor o igual al 90%.
- Ladrillos refractarios grafitados, los cuales van mezclados con carbono, que puede variar de 5% a 20%.

Ladrillos silico aluminosos, se emplea como material aislante en núcleos delta del horno eléctrico y soleras de hornos de recalentamiento. Ladrillos grafitados, se emplean las cubas de los hornos eléctricos, en las cucharas de acero ubicados en la línea de escoria y en convertidores de acero.

Para ladrillos refractarios grafitados, el porcentaje de carbono puede variar de acuerdo a los tipos de desgaste que se presentan en cada uno de los hornos de fusión.

Tabla 7. Puntos de fusión de algunos refractarios.

ÓXIDO	PUNTO DE FUSIÓN
MgO (Magnesia)	2800°C
CaO (Cal)	2625°C
Cr ₂ O ₃ (Cromita)	2100°C
ZrO ₂ (Zirconia)	2700°C
Al ₂ O ₃ (Alúmina)	2050°C

⁵ Magnesita. Presentación ppt Tema I Refractarios empleados en la acería. (Consultado el 23 de septiembre del 2017).

SiO ₂ (Silice)	1725°C
MgO.CaO (Dolomita)	2450°C
SiC (Carburo de Silicio)	2500°C
FeO.Cr ₂ O ₃ (Cromita)	2000°C
ZrO ₂ .SiO ₂ (Zirconita)	1775°C
MgO.Al ₂ O ₃ (Espinélio)	2135°C

Fuente: Presentación ppt Tema I Refractarios empleados en la acería.

2.9 CONTROL DE PROCESO EN CONVERTIDORES

En el proceso de convertidores, existen dos modelos bajo los cuales se pueden proporcionar una idea clara acerca de los posibles resultados esperados al finalizar el proceso de soplo con oxígeno. Estos modelos se basan en modelos matemáticos estocásticos y determinístico. Estos modelos son:

- **Modelo estático:** Este modelo permite obtener teóricamente las necesidades de oxígeno para el soplo, cantidad de chatarra a adicionar, arrabio líquido, consumo de cal entre otros. La principal desventaja de usar este modelo, es que si se presentan variaciones en las composiciones químicas de las materias primas empleadas muy seguida, el modelo puede presentar desviaciones.
- **Modelo dinámico:** Comprende el uso de ecuaciones diferenciales, con las cuales se pretende predecir la tasa de variación de composición química del baño metálico y temperatura del baño durante el soplo.

Ambos modelos matemáticos, se basan en balances térmicos y de masa teniendo en cuenta la fisicoquímica metalúrgica clásica. La finalidad del uso de estos modelos matemáticos, es lograr la automatización en el proceso de aceración por medio de convertidores.

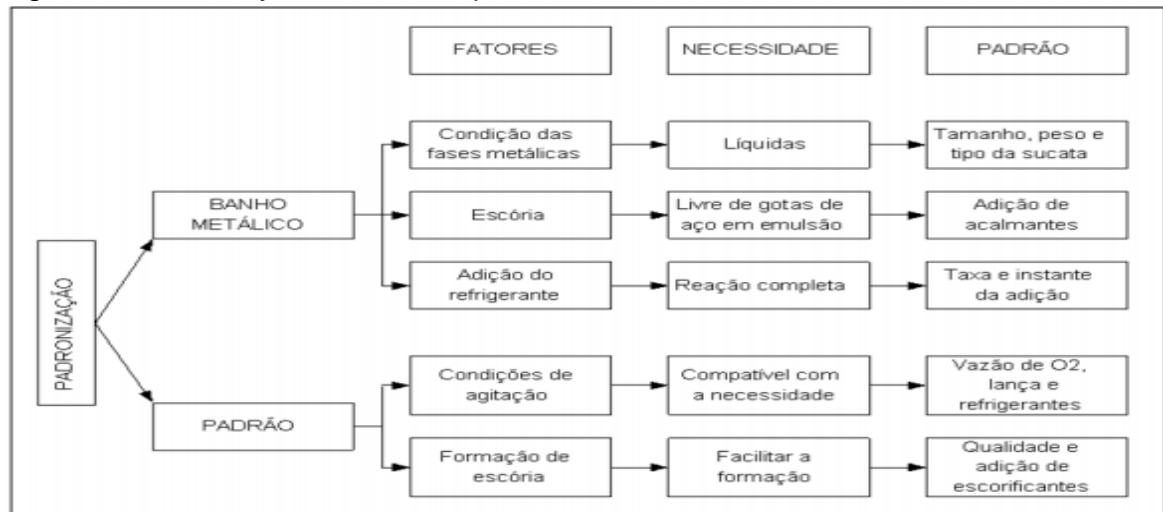
2.9.1 Estandarización: La estandarización se define como un proceso de búsqueda de patrones de equilibrio con el fin de realizar una unificación de las características de un producto o servicio.

La finalidad del proceso de padronización o estandarización en los diferentes procesos, es asegurar la estabilidad operacional y la eliminación de factores inadecuados del sistema o proceso. Naciendo la necesidad de conocer perfectamente algunas variables claves en procesos como los desarrollados en el proceso de conversión de acero, en donde la sola variación de las materias primas tales como arrabio, chatarra y cal principalmente, hacen que el proceso se comporte de una forma diferente, provocando en algunos casos que no se controle y se presenten problemas que son difíciles de identificar si no se tiene un modelo o estándar establecido para el control de proceso, el cual debe abarcar desde la

calidad de las materias primas hasta las condiciones operacionales bajo las cuales se debe realizar un proceso cuando estas condiciones varíen ⁶.

Para el caso de convertidores, algunas de las variables más importantes a tener en se muestran a continuación en la figura 4.

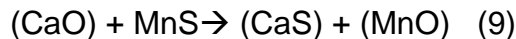
Figura 4. Factores y necesidades para estandarizar.



Fuente: Libro Controle De Processo.

2.9.3 Influencia de la composición química del arrabio en el proceso de soplo

2.9.3.1 Efecto del manganeso en el soplo: Concentraciones elevadas de manganeso y azufre en el arrabio, perjudican la eliminación del manganeso por oxidación, considerando y teniendo en cuenta que la reacción de eliminación del azufre sucede como las reacciones 8 y 9



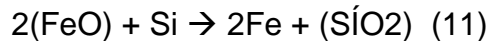
El óxido de manganeso formado en la reacción 9, debido a la reacción de reducción que genera el convertidor en el momento que se encuentra en la etapa de descarburación y además de ello con bajos contenidos de FeO en la escoria en esta etapa, provocan que el manganeso se disuelva nuevamente en el acero, aumentando su concentración final. Para poseer control en contenido de manganeso eliminado en la escoria, es importante tener en cuenta el índice de basicidad de la misma, ya que elevadas basicidades de la escoria, impedirá su eliminación del baño.

⁶ CAMPOS BATISTA. Emercio. GUIMARAESATHAYDE JUNIOR. Joao. Controle De Processo. Brazil, 2002. p.2-10.

2.9.3.2 Influencia del silicio en el soplo: Elevadas cantidades de silicio (concentraciones mayores a 1.0%) en el arrabio, perjudican la eliminación de carbono, ya que una parte del carbono presente en el arrabio se oxida según la reacción (10)

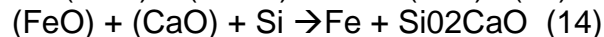
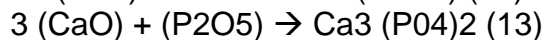
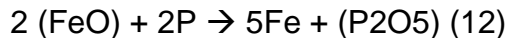


Estas concentraciones de silicio, provocan que la reacción 10 se tarde, debido a que una cantidad mínima de silicio puede reaccionar con el FeO de la escoria, tal como lo muestra la reacción 11.



Por otro lado elevadas concentraciones de cal y dolomía cruda en la escoria, perjudican la eliminación de carbono por reacciones con la escoria (reacción 10), debido a que altera la fluidez de la emulsión escoria-metal⁷.

2.9.3.3 Influencia del fosforo en el soplo: Si dentro de la composición química del arrabio, se tiene elevados contenidos de silicio (mayores o iguales a 1%), los consumos de cal para neutralización del óxido de fosforo aumentaran, además de ellos si no se realiza un buen balance de masa de cal, puede ocurrir que la cal añadida al proceso sea insuficiente, impidiendo que se fije el fosforo en la escoria, aumentando la probabilidad de que el fosforo retorne al acero. La reacción de eliminación del fosforo, puede ocurrir por reacción directa del fosforo con el oxígeno inyectado (reacción 5) o de forma indirecta por reacción con el FeO presente en la escoria.



Por otro lado la adición de chatarra favorece la eliminación de fosforo debido a que actúa como refrigerante para el balance térmico. Cabe resaltar que si se tiene una elevada temperatura (mayor a 1680°C), la probabilidad de que el fosforo retorne al baño metálico es mayor.

⁷BLANCO,C.VEGA,A. DIAZ, M. Proceso de conversión de acero y efecto de variables en convertidores tipo L.B.E. En: (En línea). (12 de Diciembre de 2017) disponible en:(<http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/index>).

2.10 RENDIMIENTO METÁLICO

Índice el cual indica la eficiencia de un proceso, teniendo en cuenta la cantidad de acero producido que resulta del proceso de conversión de arrabio más chatarra⁸. Este se calcula de acuerdo a la ecuación (15).

$$\text{Índice de rendimiento metálico (IRM)} = \frac{\text{Peso de acero producido (kg)}}{\text{Arrabio líquido} + \text{chatarra}} \times 100\% \quad (15)$$

2.10.1 Factores que afectan el rendimiento metálico: A continuación, se enuncian las variables que hacen variar el rendimiento metálico en el proceso de convertidores⁹.

- Volumen de escoria generada en el proceso.
- Porcentaje de FeO en la escoria.
- Índice de proyecciones.
- Índice de retención de acero en el convertidor.
- Distancia de la lanza al baño (proceso LD).
- Cambio en patrones de soplo.
- Cambio de composiciones químicas ideales de arrabio.
- Actualización de los parámetros para el cálculo de la carga metálica en la que no se consideró la pérdida térmica del horno.

2.11 TIPOS DE ESCORIAS

Dentro del proceso de fabricación de acero, se manejan dos tipos de escoria, las cuales presentan dos finalidades diferentes en cada uno de los procesos. Estos dos tipos de escorias son:

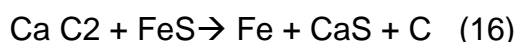
2.11.1 Escoria oxidante: El objetivo de este tipo de escoria, es eliminar elementos indeseables presentes en el baño de acero, tales como silicio, carbono y principalmente fósforo. Se hace referencia a escorias oxidantes, a aquellas escorias las cuales tienen un porcentaje de FeO mayor al 15%. Las oxidaciones de las escorias en los procesos de convertidores y horno eléctrico de arco, pueden variar del 20% al 30%, siendo la única diferencia entre cada una de estas escorias la

⁸ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Guía para el aprovechamiento de los residuos sólidos GTC 53-5, primera edición. Bogotá. ICONTEC, 1999

⁹MOREIRA ARAUJO Dione. ALMEIDA PEIXOTO Leandro. HAHNE Christian. Melhoria continua do rendimento metálico do convertedor LD DA V&M Do Brasil. (En línea). (5 de diciembre de 2017) disponible en (<https://www.abmbrasil.com.br/>).

basicidad manejada en el proceso, en donde el horno eléctrico de arco, se debe manejar una basicidad de 1.0 a 2.0, mientras el convertidor permite manejar basicidades de 2.0 a 3.0. Dependiendo del grado de oxidación de la escoria, esta será fluida, debido a que el FeO disminuye la temperatura de fusión de estas.

2.11.2 Escoria reductora: Es aquella escoria, en la cual hay elementos reductores tales como silicio, carbono y calcio principalmente en grandes proporciones, los cuales se encuentran como silicio libre o elemental, carburo de calcio para el caso del carbono y del calcio. La finalidad de esta escoria, es producir la reacción de desoxidación de elementos tales como el hierro, manganeso y otros elementos aleantes. Estas escorias reductoras tienen la particularidad que además de ayudar a desoxidar el baño metálico, contribuye a la desulfuración del baño, debido a la reacción del azufre con el calcio, para formar sulfuro de calcio. Estas reacciones de reducción y desulfuración, se muestran en la ecuación (15) y (16) respectivamente.



Este tipo de escorias, se usan en el proceso de afino secundario (horno cuchara), siendo muy importante mantener controles muy estrictos sobre la temperatura y la cantidad de escoria reductora, debido a que se puede producir la refosforación del acero líquido¹⁰.

Otro aspecto importante a tener en cuenta, es si el acero fabricado es calmado con aluminio o silicio, en donde los requerimientos de la desoxidación son determinados de acuerdo con el contenido de carbono en el acero antes de su colado. Por otro lado se espera obtener una escoria con un punto de fusión ideal el cual podría ser de 100 a 150°C por encima de la temperatura de operación.

Tabla 8. Composición química típica de escoria producida en el horno eléctrico.

Compuesto	(%)	Origen
CaO	35-50	Adicionada como cales cálcicas o dolomíticas
SiO ₂	10-25	Oxidación de silicio del acero
FeO	20-45	Oxidación de hierro del acero
MgO	5-15	Adicionado como cal dolomítica
Al ₂ O ₃	4-12	Adicionado para desoxidar el acero
MnO	4-10	Oxidado del manganeso del baño
P ₂ O ₅	<1	Oxidación del fósforo presente en el acero

¹⁰ NIÑO REYES. Helbert. PARRA AVILA. Oscar. Diseño de una escoria sintética para el horno cuchara de Acerías Paz del Río en su primera fase. Tunja, 2004, 61p. Trabajo de investigación (Ingeniero metalúrgico). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ingeniería.

2.12 PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS ESCORIAS

2.12.1 Tensión superficial: Es una de las propiedades mas importantes debido a que influye sobre la penetración de escoria en el refractario y en las emulsiones escoria-metal. La tensión superficial de las escorias disminuye al aumentar la cantidad de sílice (SiO_2).

2.12.2 Viscosidad: Se define como la relación del esfuerzo de cizallamiento requerido para inducir una unidad de gradiente de velocidad. Es uno de los factores más importantes en la fabricación de acero, ya que si se tiene una baja viscosidad, las reacciones de la interface escoria-metal son más rápidas y eficientes¹¹.

2.12.3 Punto de fusión: Es la temperatura a la cual una fase solida cambia a fase liquida. En la fabricación de acero, lo ideal es que las escorias en cada uno de los procesos tenga un punto de fusión lo más cercano a la temperatura de fusión del acero, lo cual contribuye a favorecer y mejorar las reacciones en la interface escoria-metal, disminuyendo el consumo de energía eléctrica y de electrodos en procesos tales como en el horno eléctrico y horno cuchara.

2.12.4 Densidad: Se define como la cantidad de materia embebida en un volumen determinado. Esta propiedad es la encargada de explicar porque en la fabricación de acero se producen dos fases separadas que no se mezclan como lo es la escoria y el acero.

2.13 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LAS ESCORIAS

2.13.1 Basicidad: Es un índice que resulta de la relación de óxidos ácidos y básicos como el CaO , MgO , SiO_2 , Al_2O_3 , el cual permite conocer o predecir la concentración de óxidos básicos en una escoria. Dentro de esta relación de óxidos se encuentran 3 sistemas, los cuales pueden ser sistemas binarios, ternarios y cuaternarios.

Aquellos sistemas binarios se dicen que son aquellos que evalúan el CaO/SiO_2 , en sistemas ternarios $(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$ o $\text{CaO}/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)$ y diagramas cuaternarios cuando se tienen en cuenta los 4 óxidos anteriores siendo la relación $(\text{CaO}+\text{MgO})/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)$.

¹¹ PEREZ VILLAMIL. Fabio. Viscosidad y conductividad de escorias típicas en la producción de ferroníquel. (En línea) . (17 de Diciembre de 2017) disponible en: (<http://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria>).

3. ESTADO DEL ARTE.

3.1 En el estudio realizado por Artigo, realizan la simulación física de un convertidor de soplo Mixto, empleando CO₂ como gas de reacción y agua para representar el acero. En esta investigación, variaron los ángulos de las lanzas del fondo de 90 a 60°, a su vez realizaron la variación de la distancia de la lanza sobre el baño y emplearon caudales variables, con el fin de evaluar la velocidad de desgasificación y las pérdidas por proyecciones. Para ellos inyectaron CO₂ por el fondo y por la parte superior del sistema. Encontrando que a medida que se disminuye el ángulo de las lanzas ubicadas en el fondo y con mayores flujos de agitación, se disminuyen las proyecciones de material. También determinaron que a mayores flujos de gas de agitación, los tiempos de desgasificación disminuían y que a medida que la distancia de la lanza decrece con respecto al baño, aumentan las proyecciones.

3.2 Kruskopf y Lounkilpi, realizan una serie de modelos termodinámicos y de transferencia de masa, con el fin de conocer, como varía la velocidad de fusión de la chatarra y la velocidad de disolución del carbono en el baño metálico, cuando se cargan 20 toneladas de chatarra con espesores de 1,0, 2,0, 4,0 y 8,0 cm y 100 toneladas de arrabio con 4,5% de carbono, el cual entra a una temperatura de 1322 °C, encontrándose así que, a mayor espesor de la chatarra, los tiempos de fusión se prolongaban de 8 minutos con espesores mínimos de 1,0 cm, hasta 12 minutos con espesores de 8,0 cm. También se observó, que a medida que se aumenta el espesor de la chatarra, la velocidad de dilución del carbono disminuye, debido a que la velocidad de fusión de la chatarra es menor.

3.3 Se han realizado estudios de optimización de soplo combinado, a través de la simulación de procesos, empleando modelos a una escala menor. A través de un simulador con escala de 1/6 de un convertidor de soplo combinado, se estudia la variación de los tiempos de agitación, cuando se maneja un caudal constante de 0.47 M³/h, variando la distancia de la lanza de soplo con respecto al baño, determinándose que a medida que la lanza se aleja del baño, los tiempos se reducen hasta un 27,1%, cuando esta, se encuentra a una distancia de 183 mm. Además, realizaron pruebas en un convertidor de 30 toneladas, poniendo en práctica los resultados obtenidos en el simulador, encontrándose que con valores altos de agitación del baño, se redujeron las concentraciones de fósforo, carbono y oxígeno en el acero en un 33%, 5,8% y 6,0%, con respecto al proceso operacional normal del convertidor.

3.4 El artículo se enfoca principalmente en la forma que se debe clasificar la chatarra, de acuerdo a su procedencia y tamaño, basado en la especificación del

instituto de reciclaje de chatarras industriales (ISRI). El autor Francesco Memoli, también explica cómo se realiza la mezcla de chatarras en la empresa Consteel y de cómo la preparación de cada uno de los tipos de chatarra, puede afectar la marcha del horno eléctrico de arco, sugiriendo a su vez, las mejores formas de realizar los cargues, recalcando que para tener una mayor eficiencia del proceso, se debe realizar en lo posible, el cargue del horno con chatarra de dimensiones pequeñas.

3.5 Moreira, Almeida Y Hahne en su artículo titulado “MELHORIA CONTÍNUA DO RENDIMENTO METÁLICO DO CONVERTEDOR LD DA V&M DO BRASIL” presentan las principales causas de la variación del rendimiento metálico y con el fin de aumentar el rendimiento metálico en el convertidor LD, hacen uso de la metodología de mejora continua, en la cual recopilan información de pérdidas previstas y no previstas, con el fin de formalizar un plan de acción. Con la implementación de estas estrategias, elevan el rendimiento metálico de 90.75 a 92.50%, siendo un aumento considerable para el proceso. Algunas de las acciones tomadas fueron dar a conocer la importancia de la calibración de distancia de lanza de oxígeno-baño metálico con el fin de disminuir el índice de proyecciones generadas, además de ello, realizaron modificaciones a los perfiles de soplo.

3.6 Bruno Rodrigues y Odair Kirmse, con el fin de optimizar el rendimiento metálico en el convertidor, implementan 23 acciones de acuerdo a observaciones realizadas por ellos al proceso. Algunas de las acciones fueron, realizar un nuevo diseño del fondo del convertidor, ubicando 12 toberas radialmente equidistantes en el fondo del convertidor. Por otro lado implementaron un sistema de patrón fotográfico para la remoción de escoria de las cucharas portadoras de arrabio e implementaron un modelo de cálculo de fundentes agregados al convertidor, con el fin de maximizar el peso de acero líquido, minimizando el paso de escoria al baño.

3.7 Jurgen Cappel, logra buenos porcentajes de eliminación del fósforo, cuando los niveles de FeO en la escoria aumentan progresiva hasta obtener una oxidación máxima de 31%, con la desventaja que disminuye el rendimiento metálico de las cargas procesadas y el desgaste del revestimiento del convertidor aumenta de 0,17 mm/colada a 1.39 mm/colada. En este artículo se realizan ensayos en los cuales se varía la cantidad de cal adicionada con el fin de que varíe la basicidad de estas, observándose que con basicidades en la escoria de 3,4 a 3,6% y con oxidaciones de hierro en la escoria de 18% a 20%, se obtienen los mejores resultados para eliminar la mayor cantidad de fósforo presente en el baño metálico sin tener mayor afectación el rendimiento metálico y el desgaste del refractario.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

En el presente proyecto se realiza una investigación experimental, la cual tiene como objeto de estudio analizar la variación del rendimiento metálico, tomando como variable de control la chatarra cargada en el proceso de convertidores de la empresa Acerías Paz del Río.

4.1 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente proyecto, se establecieron 6 fases, las cuales son descritas a continuación.

- **FASE 1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN**

Se realizara la búsqueda de material bibliográfico, el cual pueda proporcionar información de interés, sobre el funcionamiento y aquellos aspectos a tener en cuenta en el proceso de afino en convertidores, indagando a su vez sobre la procedencia y forma de obtención de las chatarras en los convertidores.

- **FASE 2. LIMPIEZA Y ADECUACIÓN DE PATIOS**

Mediante la solicitud a la empresa contratista INGECOLMAQ, se iniciará el proceso de limpieza y adecuación de patios de descargue de chatarra proveniente de los procesos realizados en horno cuchara, máquina de colada continua, manejo de arrabio y convertidores.

- **FASE 3. CARACTERIZACIÓN DE CHATARRAS**

Una vez realizada la fase 2, se procede a realizar la caracterización de cada uno de los tipos de chatarra empleadas en la fabricación de acero sismoresistente, clasificándolas en función de su contenido de hierro metálico e impurezas extrínsecas.

- **FASE 4. CARGUE Y PRODUCCIÓN**

Ejecutada la fase anterior, se procederá a realizar la variación de los cargues, en donde se variaran los porcentajes de cada uno de las chatarras clasificadas anteriormente, teniéndose en cuenta los costos de cargue y la disponibilidad de cada uno de los tipos de chatarra, observando y analizando la variación del índice rendimiento metálico, teniendo en cuenta a su vez, los parámetros de operación durante el soplo.

- FASE 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realizará en análisis de resultados, en donde se observara con que mezcla de chatarra se obtiene un índice de rendimiento metálico constante y elevado, mediante la medición de acero producido y total de material metálico cargado al convertidor, teniendo siempre presente el costo de cargue del Mix que sea ideal.

- FASE 6. SOCIALIZACIÓN DE RESULTADOS Y DOCUMENTACIÓN OPERACIONAL

Se entregara la interpretación de los resultados y los documentos referentes al desarrollo de la investigación, acompañados de recomendaciones para la mejora continua del proceso.

4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

La variación del rendimiento metálico, tiene variables importantes, que son una combinación de las siguientes.

- Índice de rendimiento metálico.
- Porcentaje de FeO presente en la escoria.
- Perdidas de acero por desescoriado.

Tabla 9. Porcentaje de participación de las chatarras empleado en cada Mix.

Mix	% Retorno Grueso (Mayor a 400 mm)	% Retorno Fino (Menor a 400 mm)	Retorno de acero (Kg)	Extramuro (Kg)	Chatarra de arrabio (Kg)	Chatarra comprada (Kg)
Mix 1	33	67	9000	-	3000	-
Mix 2	50	50	8000	1000	3000	-
Mix 3	20	80	8000	1000	3000	-
Mix 4	40	60	8000	1000	3000	-
Mix 5	55	45	9000	-	2000	1000
Mix 6	25	75	9000	-	3000	-
Mix 7	50	50	8000	-	2000	2000

Fuente: Autor

Las variables antes descritas se validarán en un procedimiento experimental, donde no existe manipulación de las muestras y solo se estableció contar con los resultados luego de ser procesadas en la práctica en los convertidores, cada una de las mezclas y sin modificar ningún tipo de variable operativa.

5. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

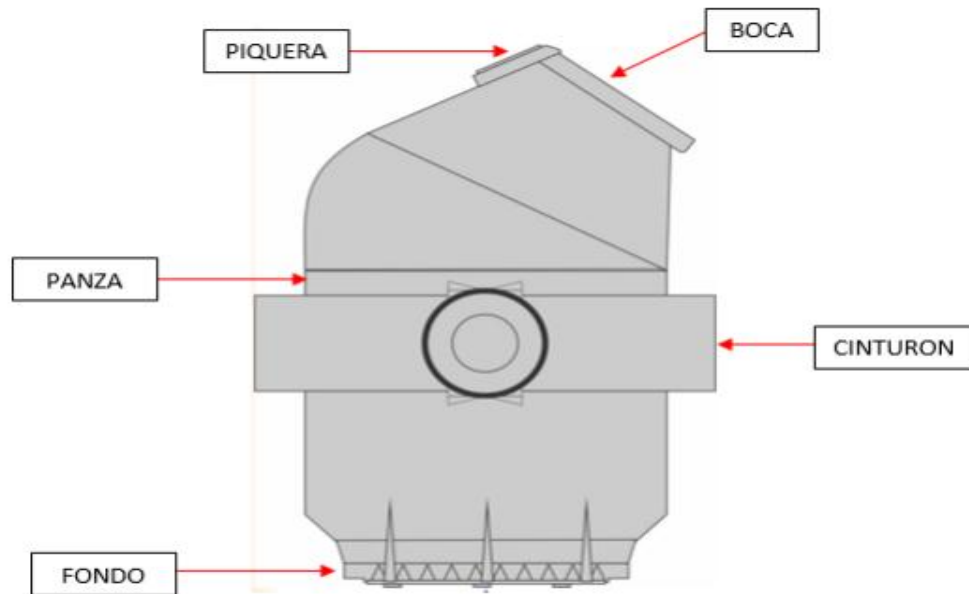
5.1 FASE 1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Para el desarrollo de esta fase se visitó los diferentes sitios donde se encontraban las materias primas y luego los equipos, en donde se hizo necesario en primera medida, conocer las áreas donde se almacenaban los retornos de acero producido de cada proceso. En segunda medida, se realizó acompañamiento en el proceso de convertidores, con el fin de conocer mecánicamente el equipo al igual que su funcionamiento, a continuación se describen los diferentes equipos, sus características y los detalles de las materias primas utilizadas

5.1.1 Convertidor LWS

El convertidor LWS de la empresa Acerías Paz del Río tiene una geometría de cono superior asimétrico, el cual está conformado por una carcasa que presenta un diámetro exterior de 3.85 m, con un espesor de chapa entre 25 y 30 mm. Todo el convertidor LWS se encuentra revestido con ladrillo magnesiano grafitado, debido a los diferentes tipos de desgastes al que se somete el convertidor.

Figura 5. Convertidor LWS.



Fuente: Omar Eduardo Wiest. Conecte Paz del Río.

El convertidor LWS, se encuentra conformado por un fondo movable, el cual tiene una altura de 1 metro. Este fondo se encuentra conformado por ladrillo refractario grafitado, el cual contiene carbono en un 12%. Este fondo contiene 5 toberas, compuestas cada una por dos tubos concéntricos, en donde el tubo concéntrico del exterior es fabricado en acero inoxidable, mientras que el tubo interior es de cobre.

El tubo concéntrico de cobre dentro de sus paredes se encuentra revestido con cromo, con el fin de proporcionar mayor durabilidad a las toberas, debido al desgaste generado principalmente por el flujo de la cal en polvo. Por este tubo concéntrico de cobre, también fluye el oxígeno inyectado al convertidor.

En el espacio dejado entre el tubo de acero inoxidable y cobre (a próximamente 1 mm), es por donde fluye el acpm, encargado de la refrigeración de las toberas. Por este espacio, también fluye el nitrógeno del barrio periférico, en donde la función de este barrido periférico es evitar que el acero se filtre por las toberas, cuando el convertidor se encuentra en posición horizontal desescoriando.

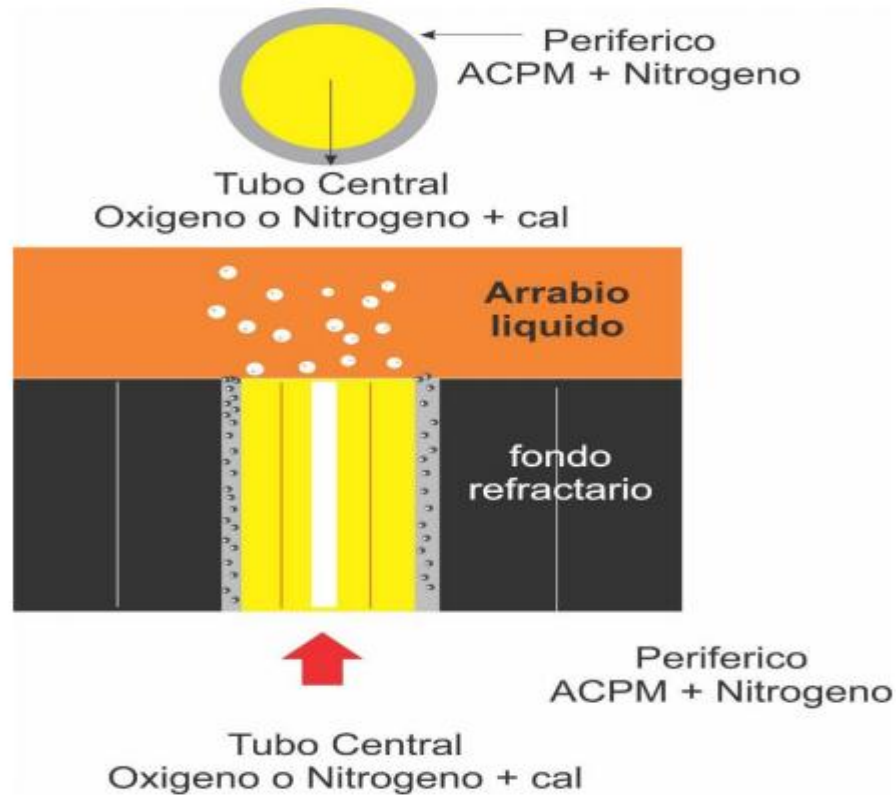
En este proceso es importante mantener un flujo de gas, por encima de una corriente sónica, con el fin de evitar la penetración de acero en las toberas y posterior taponamiento. Este flujo se logra, mediante el uso de presiones de soplo que pueden ir de 17 a 20 bares de presión, empleándose en acerías paz del rio una presión de oxígeno de 20 bares y de 14 bares para el nitrógeno.

Figura 6.Fondo del convertidor LWS.



Fuente: Omar Eduardo Wiest. Conecte Paz del Río.

Figura 7. Funcionamiento de toberas convertidor LWS.



Fuente: Omar Eduardo Wiest. Conecte Paz del Río.

5.1.1.1 Partes del convertidor LWS: El convertidor se encuentra conformado básicamente por 5 partes, las cuales son:

- **Boca:** La boca del convertidor LWS, tiene un diámetro nominal de 1.97 m sin revestimiento. La boca del convertidor sufre ataque químico en menor proporción que otras zonas, estando influenciado mayoritariamente el desgaste por fenómenos de abrasión y choque térmico. En esta zona, el ladrillo refractario está compuesto por contenidos de carbono que pueden ir del 8 al 12%.
- **Panza:** Es la zona que sufre mayor desgaste por impacto mecánico debido a que es la zona encargada de soportar la carga de la cal en roca y la chatarra. En esta zona el ladrillo refractario se encuentra conformado por porcentajes de carbono que pueden ir del 8% al 12%.
- **Piquera:** Es un punto caliente crítico, debido a que por allí es por donde se realiza el colado y desescoriado del convertidor, presentando desgaste debido a

erosión y ataque químico. Es este punto el ladrillo refractario está conformado en un 8 a 12% de carbono. Esta zona del convertidor se proyecta cada dos coladas con material refractario magnesiano en polvo cada dos coladas¹².

- **Línea de escoria:** Se presenta la mayor parte del desgaste químico, debido a los elevados niveles de oxidación de la escoria, por lo cual es necesario que el ladrillo refractario en esta zona, tenga del 11 al 15% de carbono.
- **Cinturón:** Se considera como un anillo metálico, el cual es el encargado de unir la carcasa superior del convertidor con la carcasa inferior de acero.

5.1.2 Chatarras: La chatarra metálica empleada en el proceso de convertidores se clasifican de acuerdo a la procedencia de esta tal como se muestra a continuación.

5.1.2.1 Chatarra propia: Este tipo de chatarra está conformado por los despunte de palanquilla generados en los trenes de laminación, palanquillas rechazadas o no conformes por calidad, rollos de alambrón y barrillas corrugadas no conformes. Este tipo de chatarra se clasifica como chatarra de primera debido a que no se encuentra contaminado con escoria o materiales estériles.

Figura 8. Chatarra propia.



Fuente: Autor.

¹² Acerías Paz del Río. Capacitación Tema I Fundamentos de convertidores LWS. (Consultado el 23 de septiembre del 2017).

5.1.2.2 Chatarra comprada: Es la chatarra suministrada por empresarios externos a la empresa, este tipo de chatarra presenta una variación en su composición química muy amplia, al igual que en su tamaño.

Figura 9. Chatarra comprada.



Fuente: Autor.

5.1.2.3 Chatarra de retorno interno: Esta chatarra estaba conformada por chatarra generada en tres puntos diferentes. Se conoce como rechazo, debido a que esta chatarra se produce de los remanentes de las cucharas después de que éstas han terminado de colar en la torreta de colada continua, vertiéndose el acero remanente de la cuchara en un foso. Esta chatarra también está conformada por las pérdidas generadas en los procesos de desescoriado en convertidores y horno eléctrico.

De estas pérdidas generadas en convertidores y horno eléctrico se generan chatarras con dimensiones mayor a 400 mm y menor a 400 mm, aquellas piezas que tienen un tamaño mayor a 400mm, se llevan a patio metálico para realizar el proceso de preparación (corte) y aquellas piezas con dimensiones menores a 400mm, debido a que se ocultan en los coproductos, los coproductos se envían a separadores magnéticos para realizar la separación de la chatarra, retornando luego a patio metálico, en algunas ocasiones contaminados con escoria.

Figura 10. Retorno interno de acero mayor a 400mm.



Fuente: Autor.

Figura 11. Retorno interno de acero menor a 400 mm.



Fuente: Autor.

5.1.2.4 Chatarra de arrabio: Se produce cuando se realiza el lingotamiento de arrabio en los fosos, ya sea por necesidad de enviar cucharas al alto horno o por arrabio no conforme. Se considera chatarra de primera debido a su bajo contenido de contaminantes. Además de ello debido a las condiciones anteriormente mencionadas, posee una composición química muy variable.

Figura 12. Lingotamiento de arrabio (a) y chatarra de arrabio (b).



Fuente: Autor.

5.1.2.5. Chatarra de extramuro: Esta chatarra corresponde a los retornos internos de acero producidos desde los inicios de Acerías Paz del Río, en donde estos retornos internos de acero los cuales se encontraban mezclados con escoria, eran evacuados hacia un patio conocido como extramuro en donde se formaban grandes pilas con alturas promedio de 12 metros y que por cuestiones atmosféricas tales como presión, humedad y temperatura, el acero que se encontraba en ese momento mezclado con la escoria empezó a sufrir fenómenos de corrosión tendiendo a volver a su estado natural (óxidos), tal como lo indica la teoría del químico Antoine Lavoisier “La materia no se crea ni se destruye, solo se transforma”, produciéndose una chatarra la cual podía contener hierro elemental y hierro en forma de compuestos.

Este tipo de chatarra se considera como chatarra de segunda, debido a que el hierro se encuentra embebido en una matriz de escoria y en algunos casos, se encuentra formando compuestos en esta chatarra.

Para el proceso de convertidores LWS, la granulometría empleada en esta chatarra es de 8 mm a 25 mm.

Figura 13. Chatarra de extramuro.



Fuente: Autor

NOTA: Cada uno de estos tipos de chatarra, se emplea uno u otro Mix de acuerdo a la calidad de acero que se esté procesando en el convertidor, así, si se está procesando acero de calidad sismo resistente, se emplea chatarra de retorno interno de acero, chatarra de arrabio y extramuro principalmente; Para la calidad trefilable, se emplea chatarra propia, chatarra comprada y chatarra de arrabio. Cabe resaltar que de acuerdo a la disposición de cada uno de los tipos de chatarra, se varia la cantidad de cada de estas en el Mix.

5.2 FASE 2 LIMPIEZA Y ADECUACIÓN DE PATIOS

Dentro de la distribución de aceras paz del rio se cuenta con una serie de patios, en los cuales se almacena chatarra temporalmente, la cual proviene de cada uno de los procesos desarrollados en la acería, contando con dos patios para almacenar los retornos internos de acero, denominados patio de desiliciado, en el cual se evacua todo el retorno producido en el foso del horno cuchara, al igual que el retorno producido en los distribuidores o tundish. Debido a que en la zona aledaña al patio se realiza la operación de desescoriado de arrabio, el retorno interno de acero producido en los puntos anteriormente mencionados, se encontraba mezclado con chatarra y escoria de arrabio, dificultando la selección del retorno de acero, por lo cual en primera medida se decidió realizar la limpieza total de este patio para llevar poder manipular correctamente este tipo de retorno. La idea era consolidar un zona única para almacenar de retorno interno. Este proceso se llevó acabo en 20 días, debido a problemas principalmente asociados a la disposición de maquinaria amarilla. Durante el desarrollo de esta labor se hizo uso de un cargador CATERPILLAR 950 GC, el cual tenía una capacidad de 40 toneladas, igualmente

se hizo uso de una volqueta Dumper, la cual tenía una capacidad nominal de carga de 40 toneladas, con estos equipos se evacuo todo el material, quedando este patio totalmente limpio.

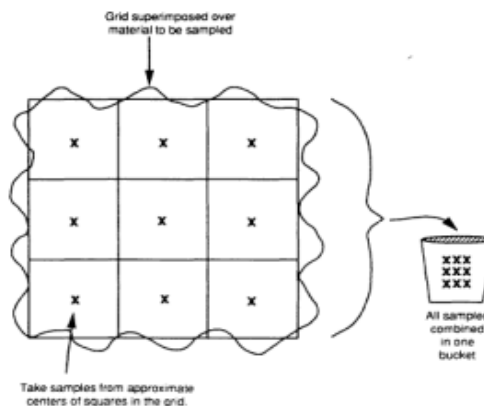
Otro patio en el cual se realiza el almacenamiento temporal de retorno interno de acero, es el patio conocido como C3. En este patio se evacua todo el retorno de acero producido en el área de convertidores y horno eléctrico. Debido a que este retorno de acero se produce durante las etapas de desescoriado, este va mezclado con escoria, pero debido a la diferencia de densidades entre la escoria y el acero, al limpiar el patio, el retorno de acero se separa sin mayor dificultad de la escoria, proporcionando un retorno de acero limpio y apto para su consumo en convertidores.

5.3 FASE 3 CARACTERIZACIÓN DE CHATARRAS

5.3.1 Toma de muestras de retorno interno producido en horno cuchara

Debido a las dimensiones presentadas por los retornos internos de acero (rechazo), los cuales presentan un tamaño promedio de 1.80mx0.50m, con el fin de obtener una muestra representativa y conocer su composición química promedio, al igual que la cantidad de impurezas no intrínsecas presente en este tipo de chatarra, se realizó la toma de muestras de chatarra, usando como guía el manual de toma muestra para chatarra fragmentada. Esta metodología, consiste en delimitar un área que tenga las mismas dimensiones de ancho y largo, tomando las muestras de chatarra en lo posible aproximadamente a la misma distancia cada una de ellas. Esta metodología empleada, se muestra a continuación.

Figura 14. Toma de muestras de chatarra de retorno interno de acero producido en el horno cuchara.



Fuente: Manual para toma de muestras de chatarra fragmentada.

Las muestras se tomaron cada 1.1 metros de distancia, tomándose en total un número de 12 muestras, las cuales se obtuvieron mediante corte con lanza de oxígeno.

Figura 15. Corte de muestras de retorno interno de acero producido en horno cuchara.



Fuente: Autor.

5.3.2 Toma de muestras de retorno interno producido en convertidores

Durante el seguimiento realizado a este tipo de retorno interno de acero (inspección visual), se evidencio que debido a la forma de obtención de esta chatarra, está se encuentra conformada en un 98% de material metálico, lo cual contribuyo a que la realización de la caracterización química fuera más rápida, debido a que no fue necesario implementar la metodología descrita en el ítem 6.1.1. Como este retorno interno de acero se produce por el acero que se pierde durante el desescoriado del convertidor, por diferencia de densidades entre el acero y la escoria producida, el acero queda en el fondo de la cuba, facilitándose su separación física de la escoria al momento que se evacua está en el patio de fertilizantes, liberando en su totalidad la escoria. De acuerdo a esta observación, se tomó la decisión de tomar las composiciones químicas de este tipo de acero, cuando el convertidor estaba en la etapa de desescoriado.

Figura 16. Toma de muestra en etapa de desescoriado del convertidor.

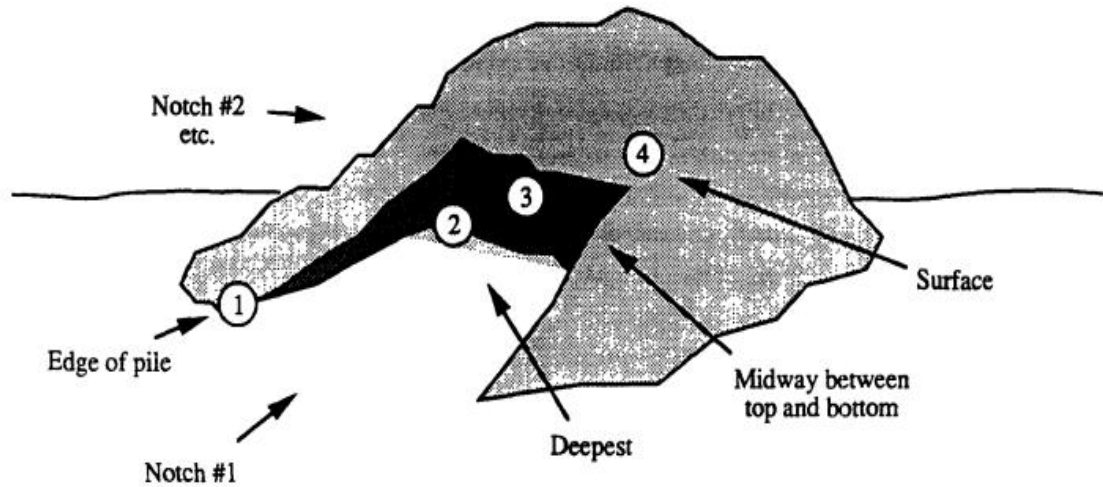


Fuente: Autor.

5.3.3 Toma de muestra de extramuro: Debido a que Minas Paz del Río suministraba este tipo de chatarra, no se hizo necesario realizar la toma de muestras.

5.3.4 Toma de muestra de chatarra de arrabio: Se siguió la metodología que propone el manual titulado “Sampling Guidance for Scrap Metal Shredders Field Manual” debido a que en el momento de la toma de muestras, se tenía la chatarra de arrabio formando una pila, la cual tenía una altura de 4.5 metros, con tamaños que iban de 2.5 cm a 10 cm, con un espesor constante de 1 cm por lo cual se hizo necesario emplear una retroexcavadora de imán y de balde para obtener las muestras como lo indica a continuación la figura 17.

Figura 17. Toma de muestras de chatarra de arrabio en pilas.



Fuente: Sampling Guidance for Scrap Metal Shredders Field Manual.

En primera medida, se realizó la toma de muestras de chatarra de arrabio en el pie de la pila con la retroexcavadora de imán, tomándose en total 6 muestras de chatarra de arrabio cada 3 metros y alrededor del pie de la pila. En segunda y tercera medida se procedió a realizar la toma de muestras de la pila a una profundidad de aproximadamente 60 cm, lo cual se hizo necesario expurgar la pila con una retroexcavadora de balde hasta conseguir la profundidad aproximada, allí se tomaron 5 muestras de chatarra de arrabio, cada 30 cm de distancia.

Para finalizar, en la superficie de la pila se tomaron de forma alternativa las muestras cada 2 metros, saliendo en total 10 muestras de chatarra de arrabio después de llevarse cada una de estas muestras a un tamaño de 10 cmx10cm, mediante la acción de golpeteo con bola de acero.

5.3.5 Caracterización de retorno interno de acero del horno cuchara: La toma de muestras se llevó a cabo según el ítem 5.3.1. A estas muestras se les realizó en primera medida ensayos por vía húmeda, con el fin de conocer la cantidad de material contaminante (escoria) presente en este tipo de chatarra. Este ensayo maneja el principio de volumen desplazado, en donde el procedimiento que se realizó fue llenar en su totalidad un balde con agua, colocando debajo una bandeja que recibiera el agua rebosada debido al desplazamiento producido por las muestras.

Figura 18. Medición de impurezas en retorno interno de acero producido en horno cuchara.



Fuente: Autor

El volumen de agua desplazada del balde y recogida en la bandeja, se pasó a una bureta, con el fin de conocer el volumen exacto de agua desplazado, dando como resultado que en total se desplazó 2.1 litros de agua, valor el cual se reemplazó en una función matemática que maneja el área de calidad en Acerías Paz del Río, dando como resultado que este tipo de retorno de acero, está contaminado en un 46% por escoria.

5.3.5.1 Caracterización química: Una vez obtenidas las muestras de cada uno de los tipos de chatarra se procedió a realizar la toma de la composición química empleando un espectrómetro de emisión de chispa para el caso de las chatarras de arrabio, horno cuchara y convertidores.

5.3.5.2 Caracterización chatarra de extramuro: Los resultados proporcionados por la división de Minas Paz del Río, se tomaron en cuenta para el presente trabajo.

5.3.6 Acciones tomadas: Debido a la cantidad de impurezas que presentaba el retorno interno de acero proveniente del horno cuchara, se tomó la decisión de realizar la limpieza mecánica de cada uno de los tipos de retorno generados en los diferentes procesos, mediante el golpeteo con bola de acero. Esta acción consiste en elevar una bola de acero a la mayor altura posible mediante el uso de una retro excavadora de balde y dejarla caer sobre el retorno interno de acero, con el fin de que libere la escoria pegada al acero. Con esta acción implementada, se lleva a obtener un material más limpio, contribuyendo así a que el proceso de corte en patio metálico sea más eficiente y no se presenten alteraciones en el rendimiento metálico, debido a la adición de materiales estériles para el proceso.

Figura 19. Limpieza mecánica de retorno interno de acero.



Fuente: Autor.

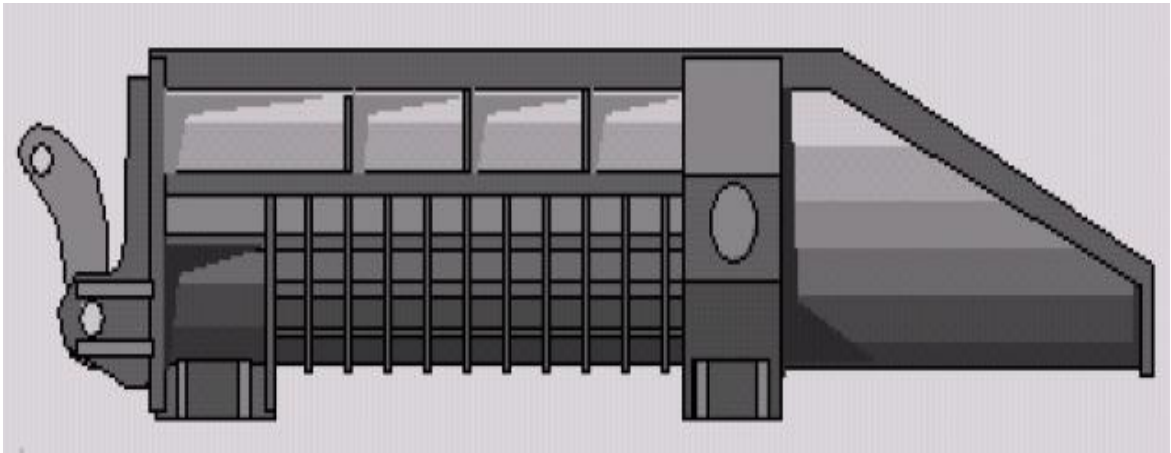
Por otro lado dentro de las acciones tomadas para el desarrollo de este proyecto, se realizó la modificación del patrón operacional titulado “Soplo de oxígeno en convertidores”, al cual se le agregó un nuevo perfil de soplo que aplica cuando un convertidor está nuevo, es decir un convertidor que lleva un número de coladas menor a 50, además de ello, se establecieron puntos acerca de la capacidad máxima del convertidor de acuerdo a una serie de aspectos. La modificación de este patrón operacional trajo consigo la necesidad de realizar un entrenamiento en el puesto de trabajo a los operadores expertos de soplo.

5.4 FASE 4 CARGUE Y PRODUCCIÓN

En la operación de convertidores, para el alistamiento de la carga metálica se sigue una serie de pasos los cuales son indispensables para el proceso.

Cuando se va a dar inicio el proceso en convertidores, en primera medida se realiza el alistamiento de la chatarra en patio metálico, en donde de acuerdo a la calidad de acero a fabricar se cargan las cestas en una secuencia diferente debido a la variación del tipo de chatarra empleada. Estas cestas en las cuales se carga la chatarra, tienen una capacidad máxima de 12 toneladas, se caracterizan por ser recipientes conformados por secciones rectangulares con dimensiones las cuales deben ser compatibles con las dimensiones de la boca del convertidor, para garantizar que el cargue de toda la chatarra se realice en un solo intento.

Figura 20. Cesta de chatarra empleada en convertidores.



Fuente: Libro operação de refino de aço.

La secuencia de cargue para cada uno de los tipos de chatarra empleados en la calidad sismoresistente, se realiza como se evidencia en la figura 21 a continuación.

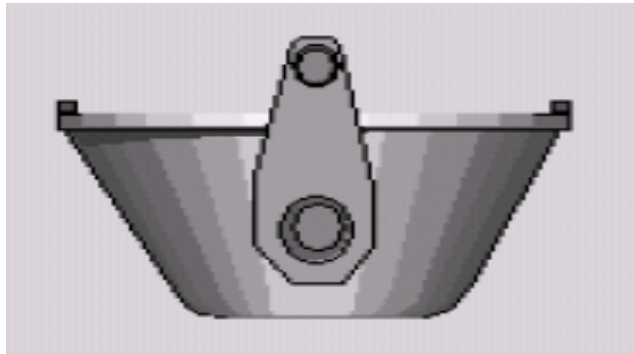
Figura 21. Secuencia de cargue de chatarra empleada en calidad sismoresistente.



Fuente: Documentación Acerías Paz del Río.

Al mismo tiempo que se prepara la chatarra, se realiza el alistamiento del arrabio líquido en la cuchara. La variación de la masa de arrabio cargado al convertidor, varía en función de su composición química, en donde para arrabios con porcentajes de silicio mayores o iguales a 0.7, se cargan en promedio 33.5 toneladas de arrabio líquido, esto con el fin de mantener un adecuado balance termico en el reactor y evitar el aumento de proyecciones durante el proceso de afino. El arrabio líquido se carga en cucharas, las cuales tienen una forma cónica estando conformadas a su vez por un revestimiento de tipo ácido.

Figura 22. Cuchara para cargar arrabio



Fuente: Libro operação de refino de aço.

5.4.1 Secuencia de carga del convertidor: Una vez se tiene lista la chatarra y el arrabio líquido, en primera instancia se realiza el cargue de la chatarra al convertidor y con el convertidor en posición horizontal, se procede a cargar la chatarra, cuando toda la chatarra ha sido cargada, el convertidor se pone en posición vertical para que la chatarra baje hasta la zona conocida como panza y repose allí mientras se carga el arrabio. Terminada esta acción el convertidor se bascula y se deja en posición horizontal nuevamente para recibir el arrabio líquido, toda esta operación dura alrededor de 6 minutos.

Durante el desarrollo de esta actividad, por las toberas del convertidor LWS se inyecta nitrógeno por medio del barrio periférico, para evitar el taponamiento de estas por el arrabio líquido a una presión de 7 bares

6. RESULTADOS OBTENIDOS.

6.1 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE RETORNO INTERNO DE ACERO DE HORNO CUCHARA:

Tabla 10. Composición química elemental promedio de chatarra de retorno interno del horno cuchara.

COMPOSICIÓN QUÍMICA PROMEDIO CHATARRA PRODUCIDA EN HORNO CUCHARA					
Elemento	Promedio	Desviación estándar	I.Confianza 1	I.Confianza 2	Desviación media Muestral
Fe	97,966	0,2332	97,8637	98,068	0,0116
C	0,2645	0,0064	0,2618	0,2673	0,0003
Mn	0,9721	0,1165	0,9272	1,0243	0,0055
P	0,0194	0,0048	0,0178	0,0212	0,0002
S	0,0218	0,0072	0,0186	0,0253	0,0003
Si	0,1882	0,0191	0,1801	0,1968	0,0001
Nb	0,0005	0	0,0005	0,0005	0
Cu	0,0843	0,1382	0,0247	0,1455	0,0069
Al	0,3378	0,0305	0,3244	0,3515	0,0015
V	0,0190	0,0009	0,0186	0,0194	0

Fuente:Autor

Debido a que durante la toma de composición química a cada una de las muestras de chatarra, se evidencio que se presentaba variación en los valores de cada uno de los elementos, se procedió a realizar un trabajo estadístico, en el cual se establecieron intervalos de confianza 1 y 2, los cuales indican que la composición química de cada uno de los elementos tiene un 95% de probabilidad de estar entre estos dos rangos. Estos rangos se pueden evidenciar para cada elemento en la cuarta y quinta columna respectivamente.

Por otro observando la tabla 10, se observa que la chatarra de retorno interno de acero producido en el horno cuchara, contiene elementos de aleación mayores al 1.0%, por lo cual se clasifico como retorno interno de acero tipo

6.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE RETORNO INTERNO DE ACERO DE CONVERTIDORES.

Los componentes elementales químicos de esta chatarra, se muestran a continuación en la tabla 11.

Tabla 11. Composición química elemental chatarra de retorno interno producida en convertidores.

COMPOSICIÓN QUÍMICA PROMEDIO CHATARRA DE RETORNO INTERNO					
Elemento	Promedio	Desviación estándar	I.Confianza 1	I.Confianza 2	Desviación Media Muestral
Fe	99,231	0,1015	99,167	99,292	0,0101
C	0,0182	0,0026	0,0163	0,0196	0,0002
Mn	0,2783	0,0586	0,2416	0,3143	0,0058
P	0,0243	0,0140	0,0156	0,0330	0,0014
S	0,0189	0,0021	0,0176	0,0202	0,0002
Si	0,0043	0,0010	0,0037	0,00495	9,92577E-05
Cu	0,0386	0,0083	0,0334	0,04377	0,0008
Cr	0,0138	0,0020	0,0126	0,01511	0,0002
Ni	0,0164	0,0113	0,0094	0,02344	0,0011

Fuente: Autor

Este tipo de retorno interno de acero se clasifico como retorno interno de acero tipo II, debido a su bajo contenido de elementos aleantes.

6.3 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE CHATARRA DE ARRABIO

Tabla 12. Composición química elemental chatarra de arrabio lingoteado.

COMPOSICIÓN QUÍMICA PROMEDIO CHATARRA DE ARRABIO					
Elemento	Promedio	Desviación estándar	I.Confianza 1	I.Confianza 2	Desviación media Muestral
Fe	91,1953	1,5912	90,209	92,181	0,1591
C	4,4161	3,4642	3,6584	4,4335	0,0464
Mn	2,1773	0,5015	1,9562	2,4882	0,0501
P	1,1434	0,1155	1,0718	1,2105	0,0115
S	0,0355	0,0163	0,0253	0,0456	0,0016
Si	0,7674	0,4108	0,0123	1,0215	0,0041
Cu	0,0047	0,0050	0,0015	0,0078	0,0005
Cr	0,0095	0,0050	0,0063	0,0126	0,0005
Ni	0,0071	0,0011	0,0064	0,0077	0,0001

Fuente: Autor

Tabla 13. Composición química chatarra de extramuro.

Fecha	Material	Peso Muestra (g)	Volumen Desplazado (ml)	Densidad Muestra (gr/ml)	% Fe
6/06/17	Chatarra Extramuro> 8 mm	4000	1075	3,72	56,15
8/06/17	Chatarra Extramuro> 8 mm	4000	998	4,01	59,23
20/06/17	Chatarra Extramuro> 8 mm	4000	1028	3,89	57,97
4/07/17	Chatarra Extramuro> 8 mm	4000	938	4,26	61,97

Fuente: Minas Paz del Río.

La caracterización se realiza según el principio de volumen desplazado, en donde consiste en introducir en una bureta 4 kilogramos de muestra de chatarra, la cual tiene una capacidad de 5 litros y en un recipiente ubicado en la parte inferior de la bureta se recibe el agua rebosada. La cantidad de agua desplazada se coloca en otra bureta de 2 litros de capacidad, en donde se mide el volumen desplazado. Una vez se obtiene el valor del volumen desplazado, se introduce este valor en una ecuación normalizada por el laboratorio de Acerías Paz del Río, la cual proporciona la cantidad de material metálico que contiene dichas muestras.

Una vez se realizó la caracterización química de las empleadas en la fabricación de acero sismoresistente, se procedió a realizar los Mix de cada uno de los tipos de chatarra.

Tabla 14. Cantidad de coladas realizadas por cada Mix.

Mix realizado	Número de coladas realizadas
Mix 1	44
Mix 2	21
Mix 3	19
Mix 4	21
Mix 5	18
Mix 6	26
Mix 7	33

Fuente: Autor.

Durante el desarrollo experimental y en el control de las diferentes mezclas de chatarra en razón a la disposición existe en los patios que tiene que ver con peso forma y tamaño, se modificaron las mezclas inicialmente diseñadas, tal como se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Cantidad real de chatarra empleada en los Mix.

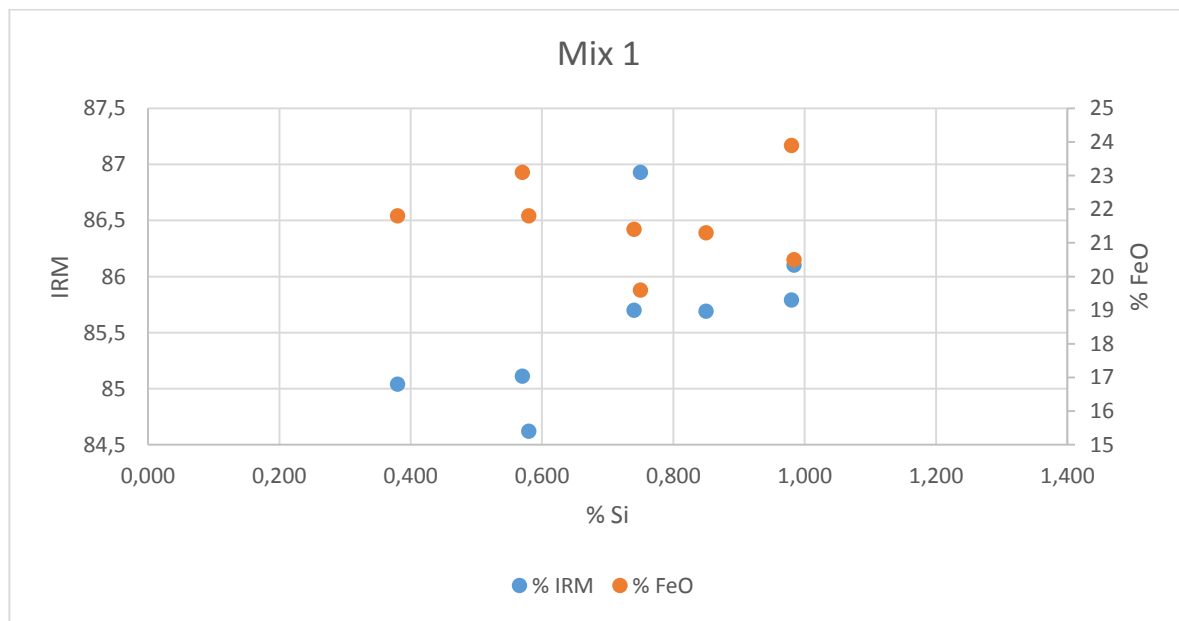
Mix	% Retorno Grueso (Mayor a 400 mm)	%Retorno Fino(Menor a 400 mm)	Retorno de acero (Kg)	Extramuro (Kg)	Chatarra de arrabio (Kg)	Chatarra comprada (Kg)
Mix 1	33	67	9025	-	3000	-
Mix 2	50	50	7500	1000	3000	-
Mix 3	20	80	8021	1000	3000	-
Mix 4	40	60	8024	1000	3000	-
Mix 5	55	45	8620	-	2000	1000
Mix 6	25	75	8909	-	3000	-
Mix 7	50	50	6652	-	2000	2000

Fuente: Autor

6.4 VARIACIÓN DEL RENDIMIENTO METÁLICO EN FUNCIÓN DEL MIX Y PORCENTAJES DE SILICIO EN EL ARRABIO

6.4.1 Mix 1 67% Retorno Fino – 33% Retorno Grueso de Convertidores Y 3000 kg Chatarra De Arrabio

Grafica 1.Mix 1 67% Retorno Fino – 33% Retorno Grueso de Convertidores y 3000 kg Chatarra de Arrabio.



Fuente: Autor

Tabla 16. Composición química promedio de arrabio para Mix 1.

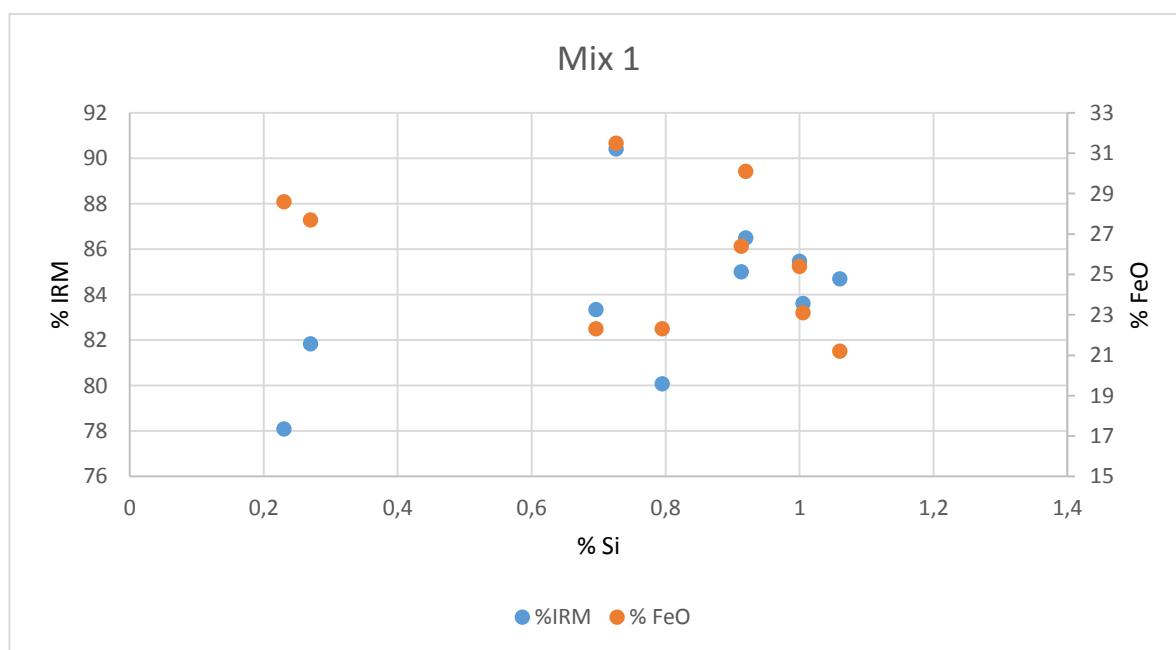
C	Mn	P	Si	Fe	% Arrabio	IRM
3,6901875	1,496875	1,189707	0,72925	92,89398	73.62	85.62

Fuente: Autor

Con este Mix y bajo estas condiciones de arrabio, se produjeron 8 coladas.

En la gráfica se observa que la gran mayoría de concentraciones de Si del arrabio, se encuentra en intervalo adecuado (0,380-0,984) para la operación correcta del convertidor. Por otro lado, se observa que las concentraciones de FeO en la escoria, no superan el 25%, contribuyendo así que se obtenga rendimiento metálico promedio de 85,62% en este Mix y con esta composición química de arrabio. Las oxidaciones promedio durante estos ensayos fueron de 21,675%.

Grafica 2. Variación del Rendimiento Metálico en Función de los Porcentajes de Si en el Arrabio y % FeO en la Escoria Para Mix 1.



Fuente: Autor.

Tabla 17. Composición química promedio de arrabio para Mix 1.

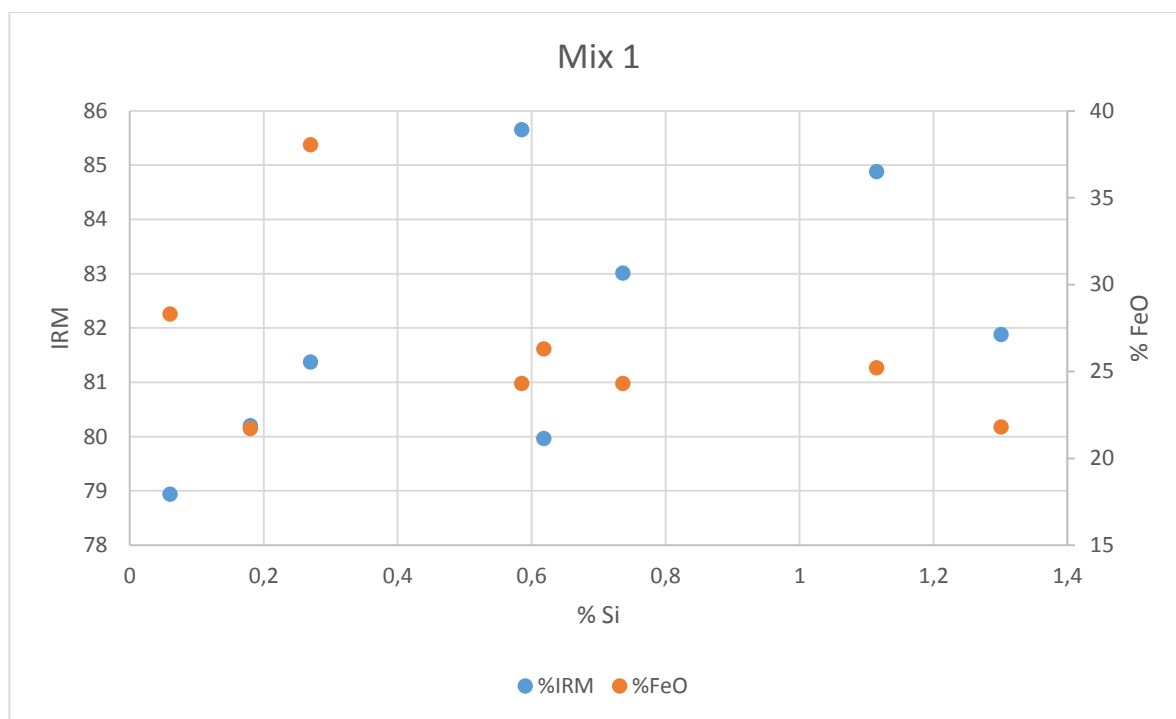
C	Mn	P	Si	Fe	% Arrabio	IRM
3,463	1,281	1,111	0,761	93,38	73.79	83.89

Fuente: Autor.

Con este Mix y bajo estas condiciones de arrabio, se produjeron 10 coladas.

Se observa en la gráfica, que, para dos coladas, las concentraciones de Si en el arrabio, son de 0,23 y 0,27, presentando un rendimiento metálico de 78,08 y 81,83 respectivamente, observando las concentraciones de FeO en la escoria, se evidencia que debido a esta condición, se produjo una oxidación de la escoria mayor al 25%, afectando el rendimiento metálico en estas dos coladas y el promedio obtenido para este ensayo. Dentro de la gráfica también se observa que la colada número 14, presenta un rendimiento metálico mayor a 90%, revisando los datos obtenidos, se observa que la colada numero 13 presento un rendimiento metálico de 80%, con una concentración de FeO en la escoria de 22,3%, lo cual indica que en la colada numero 13 quedo acero remanente en el convertidor que no pudo ser colado debido a la poca capacidad de las cucharas de acero y que paso a conformar parte de la colada número 14.

Grafica 3. Variación del Rendimiento Metálico en Función de los Porcentajes de Si en el Arrabio y % FeO en la Escoria Para Mix 1.



Fuente: Autor.

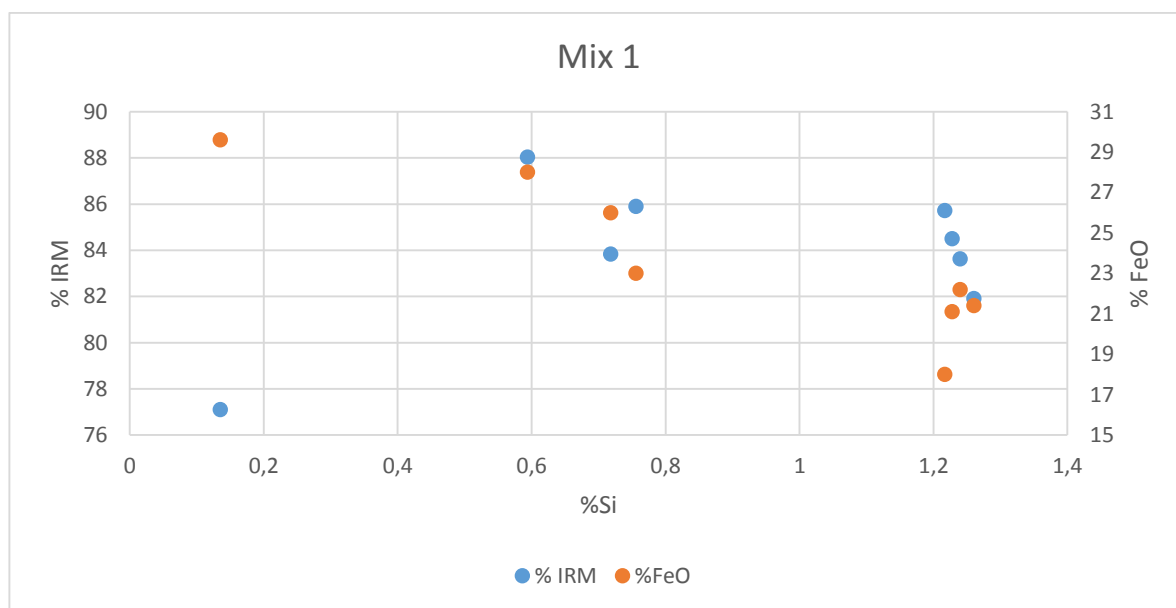
Tabla 18. Composición química promedio de arrabio para Mix 1.

C	Mn	P	Si	Fe	% Arrabio	IRM
3,442	1,132	1,081	0,712	93,631	74.10	82,34

Fuente: Autor.

De la gráfica 3, es evidente que los rendimientos más bajos, se obtienen cuando los porcentajes de Si en el arrabio son menores a 0,27%, esto con lleva a que allá una mayor concentración de FeO en la escoria debido a que en operación de convertidores, con el fin de alcanzar la temperatura objetivo de colado, se realiza la sobre oxidación de la escoria. Por otro lado, se evidencia que cuando los porcentajes de Si en el arrabio son mayores a 0,6%, la oxidación de la escoria tiende a mantenerse constante en cada carga que contiene estos valores de Si, siendo la diferencia entre oxidaciones de 3,0%, con un valor máximo de 26,3.

Grafica 4. Variación del Rendimiento Metálico en Función de los Porcentajes de Si en el Arrabio y % FeO en la Escoria Para Mix 1.



Fuente: Autor

Tabla 19.Composición química promedio de arrabio para Mix 1.

C	Mn	P	Si	Fe	% Arrabio	IRM
3,536	1,571	1,069	0,841	92,981	73.64	84,101

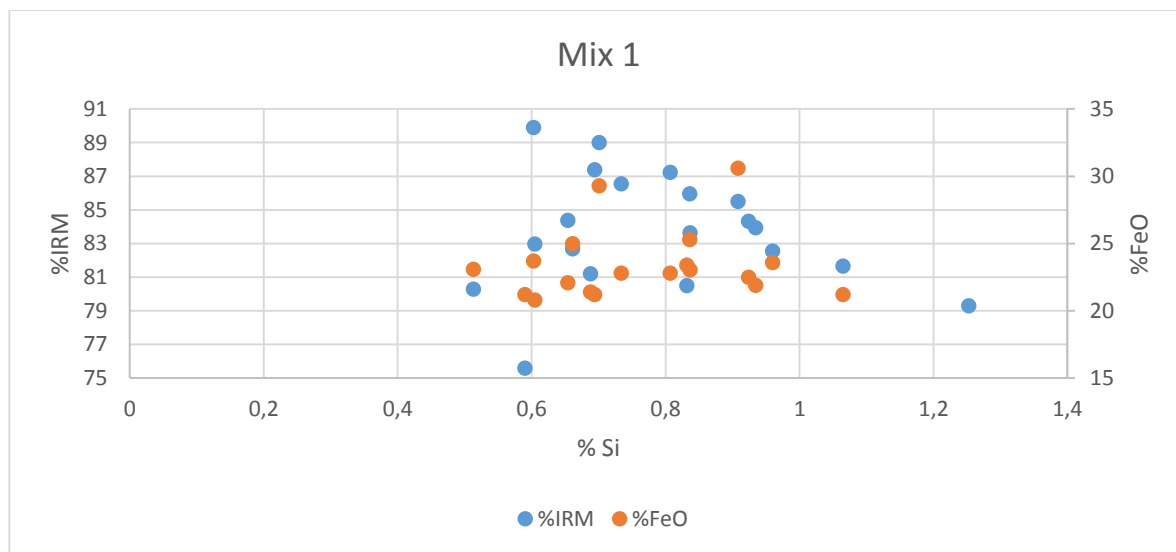
Fuente: Autor

Se vuelve a evidenciar como los porcentajes de silicio del arrabio líquido por debajo de 0,3% afecta el rendimiento metálico debido a las elevadas oxidaciones de la escoria. De la gráfica se evidencia que para un porcentaje de arrabio de 0,14% aproximadamente en la colada número 1 de los ensayos, la oxidación alcanza un valor de 29,6%, dando como resultado de ello un rendimiento tan solo del 77,1%. Con respecto al límite máximo de oxidación (25%), con la diferencia de estos 4,6 puntos y suponiendo que en este proceso para esta calidad de arrabio se produjeron

7 toneladas de escoria, se estaría perdiendo en la escoria una cantidad de 322 kilogramos de hierro.

De la gráfica también se puede observar que en la colada número 3 de estos ensayos, presenta un rendimiento metálico de 88,03% a pesar de tener una oxidación de 28%, lo cual indica que en alguna de las cargas pasadas quedo acero remanente en el convertidor, con posibilidades de que hubiera de la carga número 1. Para finalizar se evidencia de la gráfica de cómo se obtienen rendimientos metálicos altos cuando las oxidaciones de hierro en la escoria no superan el 25%.

Grafica 5. Variación del Rendimiento Metálico en Función de los Porcentajes de Si en el Arrabio y % FeO en la Escoria Para Mix 1.



Fuente: Autor

Tabla 20. Composición química promedio de arrabio para Mix 1.

C	Mn	P	Si	Fe	% Arrabio	IRM
3,947	2,028	1,093	0,693	92,236	73.69	83,502

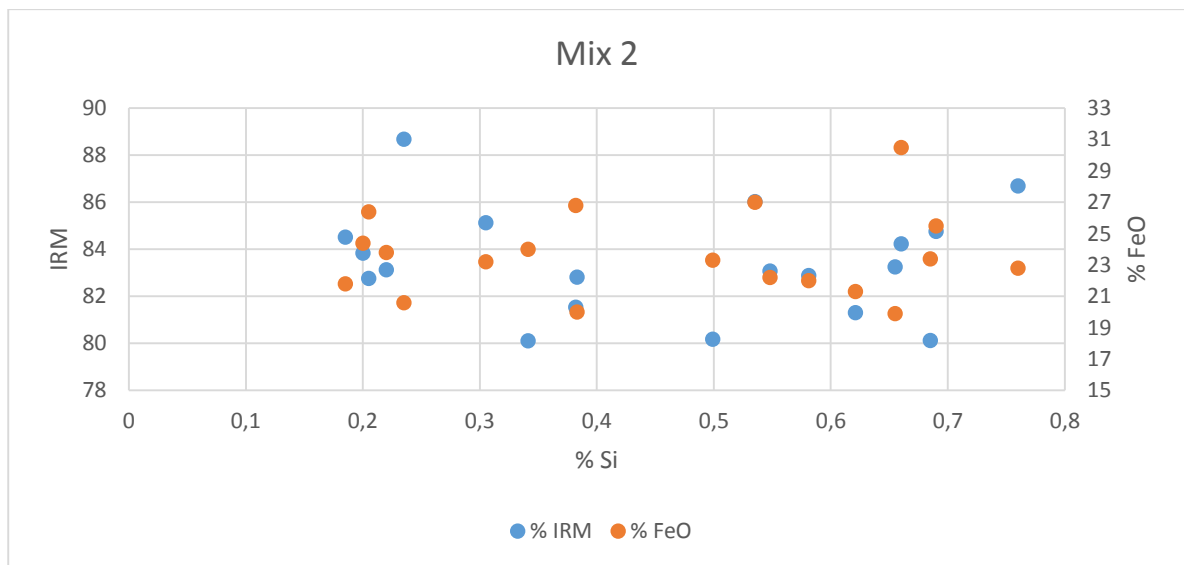
Fuente: Autor

En los intervalos de concentraciones de Si en el arrabio de 0,6% a 1,0%, se evidencia que los datos de rendimiento metálico están agrupados, con un valor mínimo en el rendimiento de 80,5. Por otro lado, las concentraciones de carbono, manganeso y fosforo en el arrabio son elevadas, dando para considerar la hipótesis que durante el proceso de soplo, se produjo proyecciones en las cargas que tienen un rendimiento metálico por debajo de 80,5, ya que al observar los niveles de oxidación de la escoria (%FeO), están acordes a lo estipulado por el patrón y no superan el 25%. De la gráfica 5, se observa que hay rendimientos metálicos superiores al 86%, en el cual la colada número 6 reporte un rendimiento metálico de 87,4% y la colada anterior un rendimiento de 81,21%, lo cual indica que de la

colada número 5 quedo acero sobrante en el convertidor que salió en la colada 6. De la misma manera para la colada número 9 la cual reporta un rendimiento metálico de 89,9%, en donde la colada número 8 presento un rendimiento metálico de 80,5%.

Para finalizar en la colada número 4 la cual presento un rendimiento metálico de 75% aproximadamente, en esta colada se procedió a fundir a corona, operación la cual provoca que el índice de proyecciones en el convertidor aumente considerablemente, haciendo que se pierda carga metálica.

6.4.2 Grafica 6. Mix 2 50% Retorno Fino – 50% Retorno Grueso de Convertidores, 3000 kg Chatarra de Arrabio y 1000 kg Extramuro.



Fuente: Autor.

Tabla 21. Composición química promedio de arrabio para Mix 2.

C	Mn	P	Si	Fe	% Arrabio	IRM
3,638	2,192	0.801	0,427	92,940	74.2	83,21

Fuente: Autor

En total se produjeron 19 coladas con este Mix. Como lo permite ver la gráfica, para cargas con porcentajes de Si menores a 0,22, los rendimientos metálicos tiene un valor superior al 82%, debido a que en el arrabio se tiene 92,94% de Fe , el cual contribuye al rendimiento metálico, por otro lado, al aumentar las proporciones de retorno interno de acero con retorno proveniente de convertidores el cual tiene Fe metálico en un 99%, contribuye a la carga metálica. Adicionalmente a esto, los niveles de oxidación de la escoria con FeO, en las 4 coladas observadas, no superan el 25%.

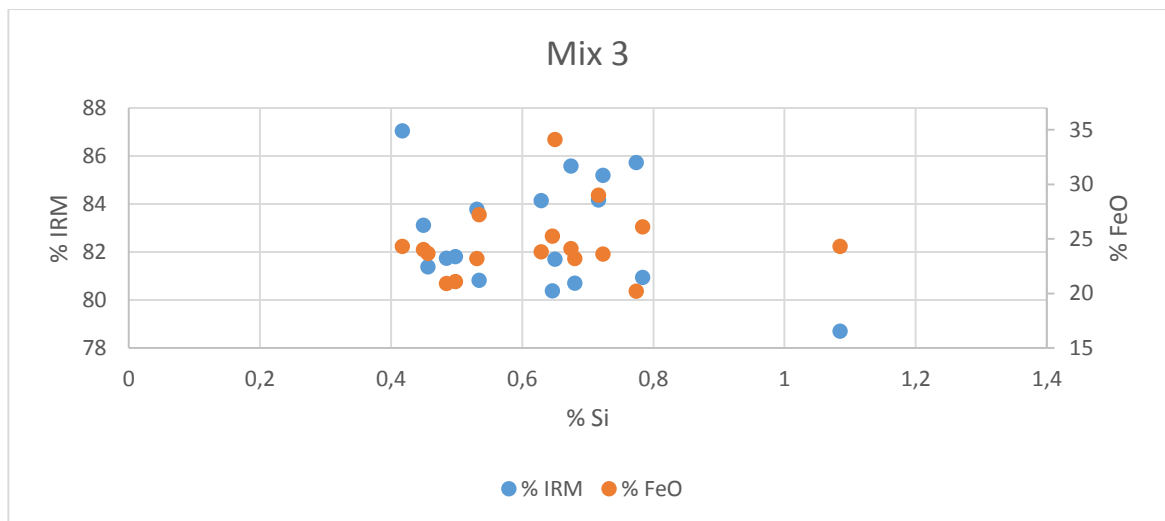
Por otro lado, hay tres coladas, las cuales presentan un rendimiento metálico bajo a pesar de tener valores de Si en el arrabio liquido de 0,341, 0,499, 0,685 respectivamente. Sus niveles de oxidación en la escoria, están acordes a lo estipulado por el patrón.

Para la coladas 10 y 12 con Si 0,341, 0,499, 0,685 , no hay novedad de proyecciones o paradas largas. Analizando la colada número 13, tiene un rendimiento del 86%, proporcionando la hipótesis de acero remanente en la colada 12. Con la colada 14, se procedió a fundir corona, acción la cual tiene como consecuencia la proyección del convertidor, afectando al rendimiento metálico de la carga.

Para finalizar, antes de iniciar el proceso en la colada número 15, la cual presento un rendimiento metálico de 81,3%, se realizó setup(limpieza de bloques y medición de toberas) con un tiempo total de 43 minutos, tiempo en el cual convertidor pierde temperatura, provocando que en la carga se presenten proyecciones mientras este vuelve a su equilibrio térmico.

El rendimiento metálico promedio obtenido con este Mix es de 83,21%, considerándose como un valor aceptable, pero a comparación del Mix número 1, este tiene un rendimiento metálico menor en 0,166 puntos.

6.4.3 Grafica 7. Mix 3 80% Retorno Fino – 20% Retorno Grueso de Convertidores, 3000 kg chatarra de arrabio y 1000 kg extramuro.



Fuente: Autor.

Tabla 22. Composición química promedio de arrabio para Mix 3.

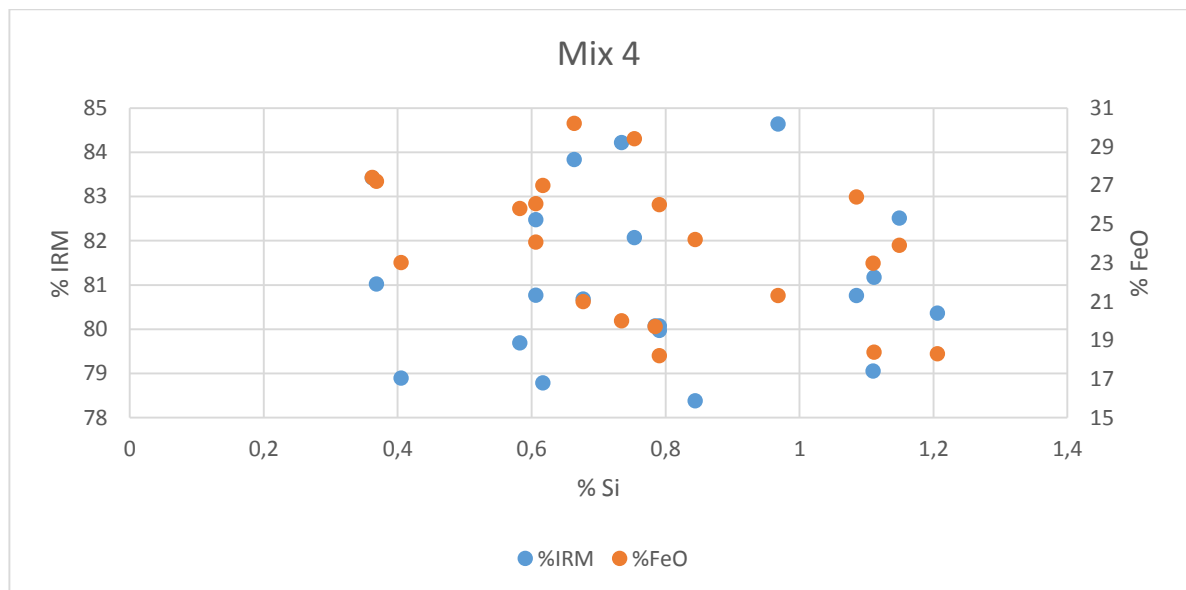
C	Mn	P	Si	Fe	% Arrabio	IRM
3,601	2,257	0,759	0,702	92,67	73.74	82,4

Fuente: Autor.

En la gráfica 3, se evidencia que los rendimientos metálicos mayores a 83% se obtienen cuando el porcentaje de FeO en la escoria son menores a 25%. Existen dos casos particulares en los cuales los porcentajes de FeO en la escoria son de 21,07% y 20,9% con un rendimiento metálico de 81,79% y 81,73% , estas coladas son las numero 8 y 16 del Mix, observando la composición química del arrabio, este arrabio es un arrabio tipo I adecuado para el proceso en convertidores, por lo cual se puede atribuir la perdida de rendimiento metálico debido a proyecciones durante el proceso de soplo, influenciada por la adición de chatarra de extramuro. Existe un caso puntual en el cual se procesó una carga con un porcentaje de silicio en el arrabio de 1,085, la cual presento el rendimiento metálico más bajo a pesar de que la oxidación de la escoria fue de 24,3%. Analizando la composición química de los demás elementos del arrabio para esta colada, se evidencia que el porcentaje de manganeso es de 2,58, con un porcentaje de carbono de 3.61, con estos porcentajes elevados de manganeso y carbono, durante el proceso de soplo se producen proyecciones debido al fenómeno conocido como spooling, el cual se presenta durante la etapa de descarburación, provocando que se pierda carga metálica en el convertidor. Otro factor que puede contribuir al aumento de las proyecciones en el convertidor, es la presencia de chatarra de extramuro.

A pesar de que los ensayos realizados con este Mix se contó con arrabios tipo I y tipo II, tan solo se obtuvo un rendimiento metálico promedio de 82,4%, influenciado por las condiciones anteriormente mencionadas.

6.4.4 Grafica 9. Mix 4 60% retorno fino – 40% retorno grueso tipo I, 3000 kg chatarra de arrabio y 1000 kg extramuro.



Fuente: Autor

Tabla 23. Composición química promedio de arrabio para Mix 4.

C	Mn	P	Si	Fe	% Arrabio	IRM
3.762	2,414	0,7921	0,7731	92,256	74.08	81,098

Fuente: Autor

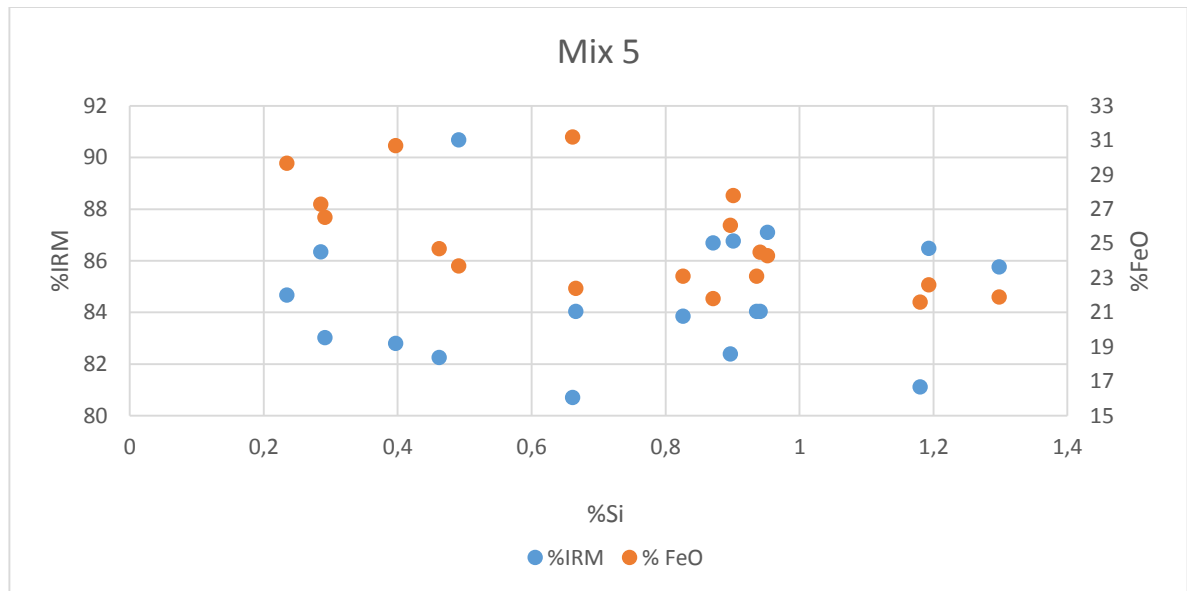
En la gráfica 8 se puede observar que durante los ensayos realizados, los arrabios tuvieron una composición química muy variable. Se observa que en los rangos de 0,3% a 1,0% de silicio en el arrabio, solo existen tres coladas las cuales presentan un rendimiento metálico mayor al 83% de las cuales dos de estas coladas tienen porcentajes de FeO en la escoria de 21,3% y 20%, lo cual se les puede atribuir el alto rendimiento metálico. Para la otra colada la cual reporto un rendimiento metálico de 83,83% con una concentración de FeO en la escoria de 30,2%, corresponde a que en la colada numero 14 anterior a esta quedo acero en el convertidor, provocando que se aumentara el rendimiento metálico a pesar de su elevada oxidación.

Por otro lado la colada 14 con un 27%FeO en la escoria, se sopló después de una parada operacional con una duración de 210 minutos. Bajo esta condición el convertidor ha perdido temperatura, aumentando el índice de proyecciones cuando se retoma la operación.

Como lo permite evidenciar en la gráfica, a pesar de que en algunas coladas las oxidaciones del FeO están por debajo de 25%, se obtiene rendimientos metálicos bajos debido a que el retorno de acero producido en el horno cuchara se encuentra contaminado en un 46% con escoria, la cual en algunas ocasiones no puede ser extraída en su totalidad por medio de limpieza mecánica a través del golpeteo con una bola de acero, debido a que este retorno tiende a formar una mezcla tipo sándwich de acero y escoria. Además de ello, al añadir chatarra de extramuro, comparando con los ensayos de las gráficas anteriores que lleva extramuro el Mix y sin extramuro, se empieza a ser evidente de como este tipo de chatarra afecta el rendimiento metálico, obteniendo hasta el momento los rendimientos metálicos más bajos y sumado a la condición anteriormente explicada, se obtiene un índice de rendimiento metálico muy malo para la operación con este Mix.

Siendo necesario no recomendar el uso de extramuro cuando se esté empleando retorno de acero proveniente de horno cuchara.

6.4.5 Grafica 10. Mix 5 45% retorno fino – 55% retorno grueso de convertidores, 2000 kg chatarra de arrabio y 1000 kg de chatarra comprada.



Fuente: Autor

Tabla 24. Composición química promedio de arrabio para Mix 5.

C	Mn	P	Si	Fe	% Arrabio	IRM
3.711	1.921	0,975	0,765	92.64	74.41	84.617

Fuente: Autor

A pesar de tener tres coladas sopladas con bajo silicio menor a 0,4% en el arrabio, el rendimiento metálico más bajo expuesto por estas es de 83,03%, con un valor en la oxidación más elevada para este Mix de 29,68%, proporcionando una buena idea del Mix ideal que se debe manejar, cuando se tengan cargas con porcentajes bajos de silicio en el arrabio.

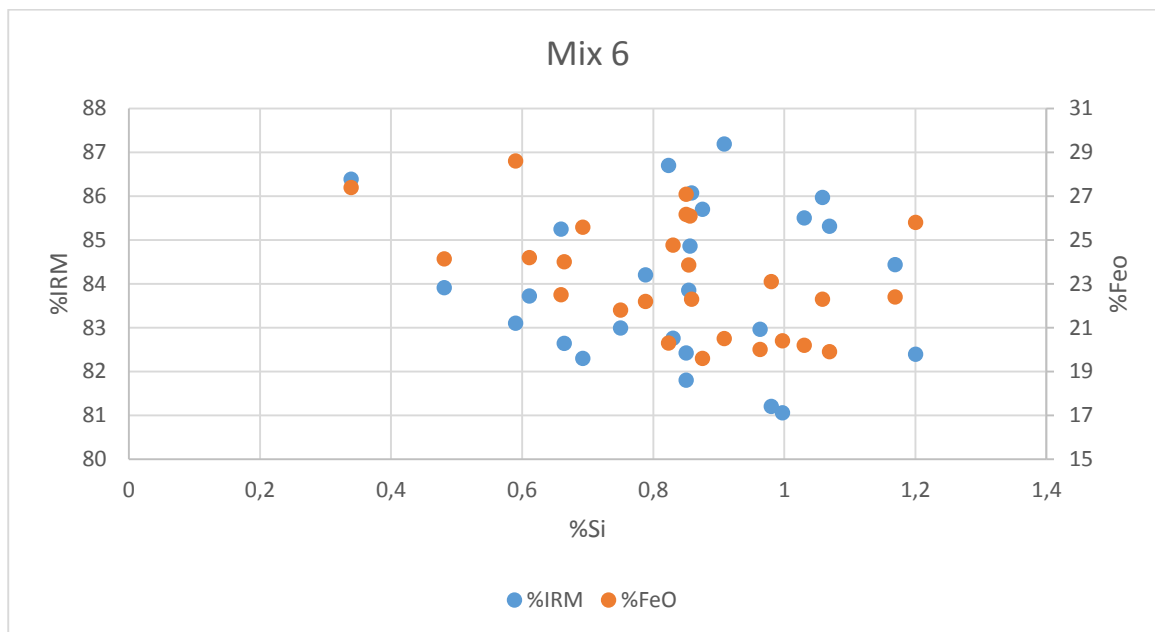
Por otro lado, las coladas número 2 y 13, corresponden a las coladas en las cuales el rendimiento metálico está por debajo de 82%. Observando la gráfica, la colada 2, obtuvo una oxidación de 31,2% lo cual afectó el rendimiento metálico de esta. Para la colada 13, revisando las planillas de control del proceso, observando y analizando la composición química del arrabio (3,99 C, 2,51 Mn, 1,14 P, 1,18 Si y 91,16 Fe), se plantea la hipótesis, que durante el proceso de soplo, se presentó proyecciones las cuales repercutieron en pérdida de carga metálica.

Otro punto que se debe resaltar de la gráfica, es que a pesar de que en algunas coladas se obtienen oxidaciones mayores al 25% y se obtiene un rendimiento metálico superior al 83%. Esto se presenta debido a que se aumenta la cantidad de retorno grueso de convertidores, el hierro elemental presente en el baño tendera a

aumentar, además de ello la adición de 1000 kilogramos de chatarra comprada contribuye de igual forma que el retorno de acero producido en convertidores, gracias a su buen grado de limpieza.

Para finalizar se evidencia que durante los ensayos realizados la composición química del arrabio estuvo muy variable, lo cual perjudica el balance térmico de la carga y debido a la operación, patio metálico suministra las chatarras con una hora de anterioridad, provocando que haya un exceso de refrigerante para el convertidor cuando se cargan arrabios con silicios menores de 0,3% en donde la temperatura del acero en la primera bajada estará por debajo de lo ideal, por lo cual se hace necesario en el sobre sople oxidar en baño con el fin de que este alcance la temperatura ideal de colado en cuchara.

6.4.6 Grafica 11. Mix 6 75% retorno fino – 25% retorno grueso de convertidores y 3000 kg chatarra de arrabio.



Fuente: Autor

Tabla 25. Composición química promedio de arrabio para Mix 4.

C	Mn	P	Si	Fe	% Arrabio	IRM
3,765	1,961	1,034	0,866	92,37	73.96	83,68

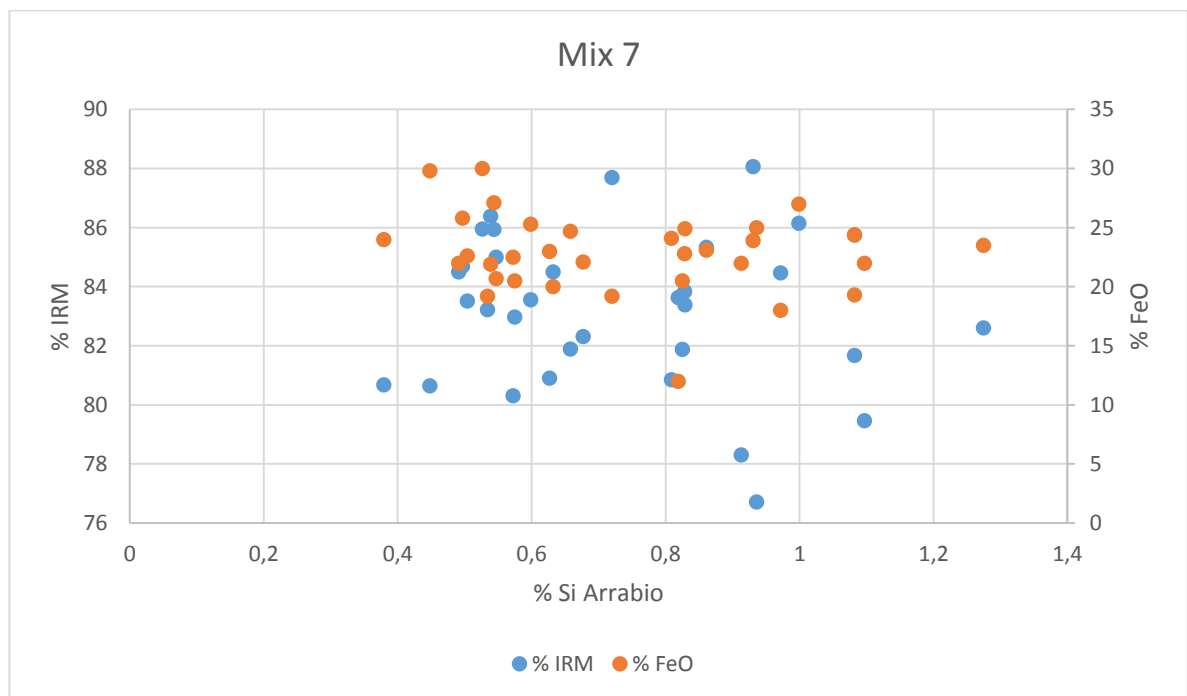
Fuente: Autor.

Las coladas 7 y 27, se fundió corona y se paró el convertidor con el fin de realizar limpieza y medición de toberas con un tiempo total de 65 minutos respectivamente. Razón por la cual, el rendimiento metálico para estas dos cargas, fue de 81,2% y

81,06%. Por otro lado, se evidencia que para arrabios con silicios mayores a 0.3%, se obtienen rendimientos metálicos en un 88% de las coladas por encima de 82%.

Se evidencia que en algunas coladas las oxidaciones mayores a 25% afectan un poco el rendimiento metálico sin que este sea menor a 82%, esto se debe a que las concentraciones de hierro en el arrabio durante los ensayos estuvo en un promedio de 92,37%. Observando la composición química promedio del arrabio, se observa que las concentraciones de manganeso son bajas, lo cual contribuye a que durante el proceso de soplo, no se generen tantas proyecciones. Revisando las composiciones químicas promedio para los Mix anteriores, se observa que cuando los contenidos de manganeso son menores a 2,2%, los valores del índice de rendimiento metálico promedios son buenos.

6.4.7 Grafica 12. Mix 7 50% Retorno Fino – 50% Retorno Grueso Tipo I, 2000 Kg de Chatarra Comprada Y 2000 Kg De Chatarra De Arrabio.



Fuente: Autor.

Tabla 26. Composición química promedio de arrabio para Mix 4.

C	Mn	P	Si	Fe	% Arrabio	IRM
3,974	2,344	0,993	0,737	91,95	75.52	83,24

Fuente: Autor.

A pesar de aumentar la proporción de retorno de acero grueso, el rendimiento metálico promedio de este Mix, es de 83,24%. Se evidencia en la gráfica que existen

cargas en las cuales se presentó un rendimiento metálico bajo, las cargas en las cuales se presentaron estos rendimientos bajos son:

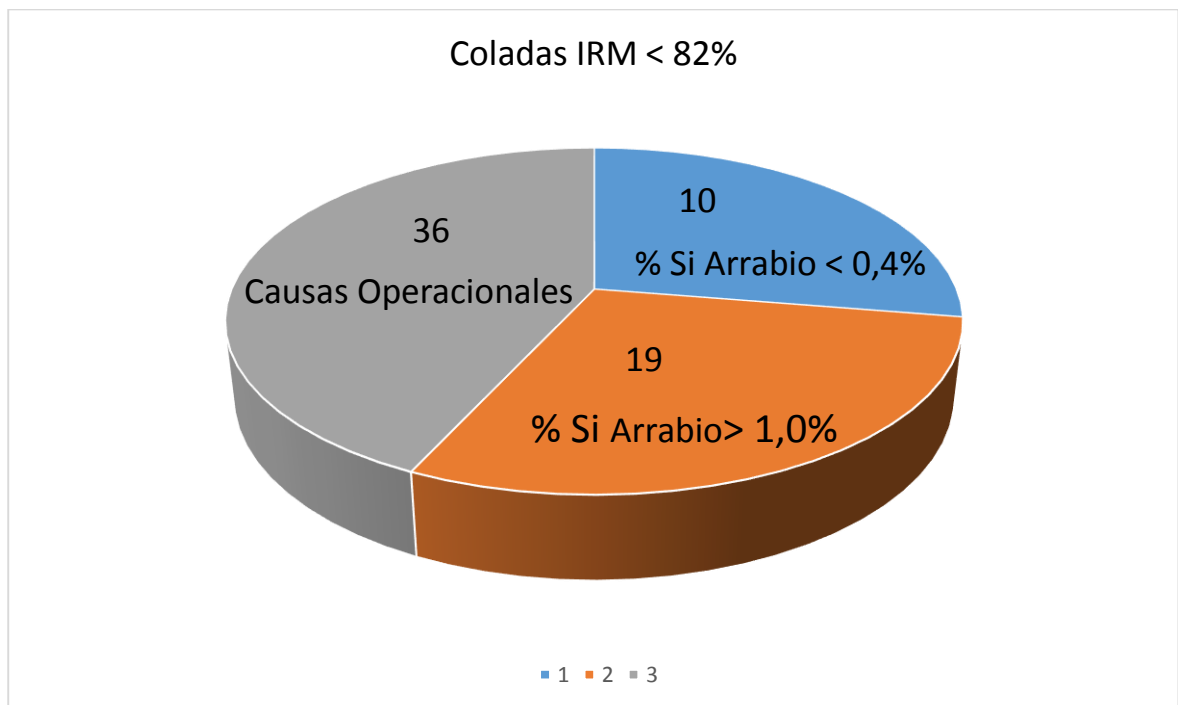
Las coladas numero2 y 3, presentaron rendimientos metálicos de 80,17% y 81,9%, debido a que el convertidor había tenido una para por 342 minutos, haciendo que este perdiera temperatura. En la colada numero15, presento un rendimiento de 79,5%, debido a que en esta colada la cuchara para colar, se encontraba sucia con un fondo de escoria de 2 toneladas aproximadamente.

Para la colada 16, no hay registro en la operación de anormalidad, por otro lado revisando la composición química del arrabio, se evidencia que los porcentajes de carbono y manganeso son de 4,1 y 2,4 con un porcentaje de silicio en el arrabio de 0,931. Se plantea la hipótesis que debido a las altas concentraciones de carbono en el arrabio, durante la etapa de descarburación, se presentó pérdida de acero debido a proyecciones.

6.5 COLADAS CON BAJO RENDIMIENTO METÁLICO

A continuación en la gráfica N.10, se presenta el número de coladas que presentaron un rendimiento metálico menor a 82%.

Grafica 13. Número total de coladas con rendimiento metálico menor a 82%.



Fuente: Autor

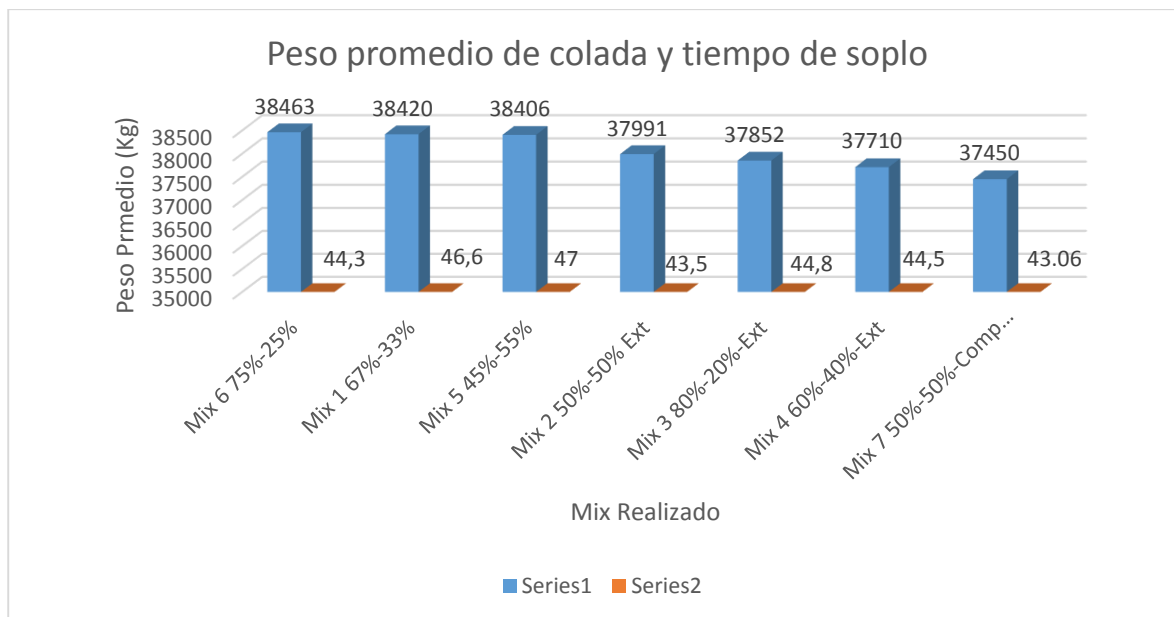
De las 65 coladas con rendimiento metálico menor a 82%, 10 corresponden a coladas con porcentajes de Silicio en el arrabio menores a 0,3%, de las cuales 6 coladas corresponden al Mix número 1 (67% retorno fino y 33% retorno grueso de convertidores), dos coladas con el Mix número 4 (60% retorno fino, 40% retorno grueso de convertidores y 1000 kilogramos chatarra de extramuro) y dos coladas al Mix número 7 50% Fino-50%Grueso tipo I y 1000 kilogramos de extramuro.

Por otro lado, para porcentajes de silicio en el arrabio mayores a 1, el Mix número 1 está presente en 10 coladas de las 19, el Mix 2 (50% retorno fino y 50% retorno grueso y 1000 kilogramos de extramuro) y el Mix 3 (80% retorno fino y 20% retorno grueso y 1000 kilogramos de extramuro), están presentes con 3 coladas, para estos casos en particular, este bajo rendimiento se puede dar a causa de proyecciones durante el proceso de soplo, debido a la presencia de chatarra de extramuro.

Para finalizar, las 25 coladas restantes, las causas principales del bajo rendimiento, se deben a paradas prolongadas del convertidor, las cuales traen como consecuencia el enfriamiento del convertidor, dando como resultado que cuando se restablece la operación del mismo, este tiende a recuperar su equilibrio térmico, presentando muchas proyecciones durante el proceso.

6.6 PESO PROMEDIO OBTENIDO POR COLADA EN FUNCIÓN DE LA VARIACIÓN DEL MIX

Grafica 14. Pesos promedio de colada y tiempos de soplo según el Mix empleado.



Fuente: Autor.

Se observa en la gráfica que los pesos promediados de coladas, se obtienen los valores más altos, cuando en el Mix de chatarra no se carga chatarra de extramuro, siendo la diferencia máxima de pesos promedio de colada de 753 kilogramos.

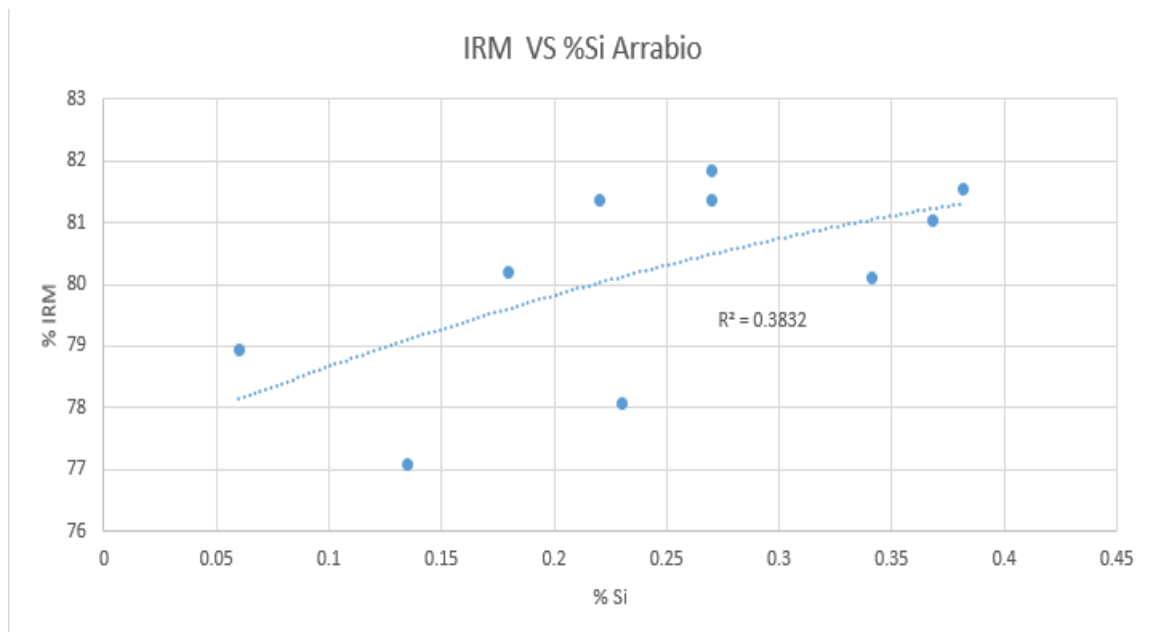
Por otro lado, se evidencia que los Mix que no contienen extramuro, tienen casi el mismo peso promedio de colada, siendo la diferencia tan solo de 57 kilogramos entre la colada con mayor peso promedio y menor peso promedio, cabe resaltar que estos valores dependen de las condiciones fisicoquímicas del arrabio.

Los tiempos de soplo, son menores en aquellas cargas que contienen chatarra de extramuro, con un tiempo promedio de soplo 44,26 minutos, mientras que las cargas que no poseen chatarra de extramuro, presentan un tiempo promedio de soplo de 46 minutos, siendo la diferencia de los tiempos de soplo entre un Mix con chatarra de extramuro y sin chatarra de extramuro, de 1,74. No se ve muy afectado el tiempo de soplo en cada uno de los Mix.

6.7 CORRELACIÓN DEL RENDIMIENTO METÁLICO Y LA CONCENTRACION DE SILICIO EN EL ARRABIO

6.7.1 Influencia del silicio en el rendimiento metálico cuando se tiene arrabios con concentraciones de silicio menores a 0.4%.

Grafica 15. Influencia del silicio en el rendimiento metálico en concentraciones menores al 0,4%.



Fuente: Autor.

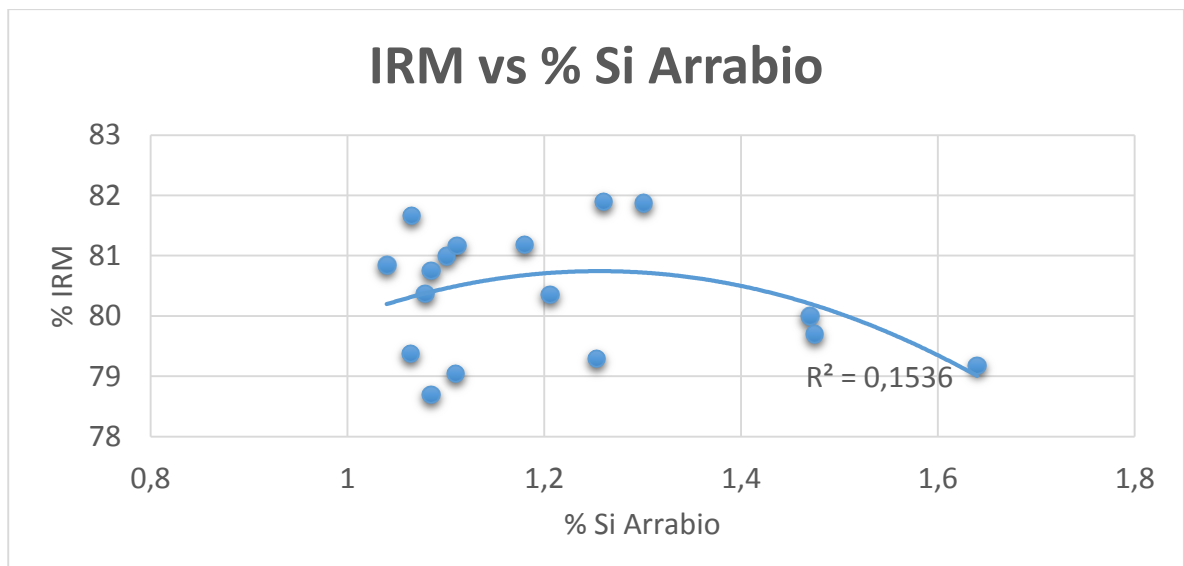
La grafica presenta una tendencia parabólica, estando relacionada en un 0,3832 o 38%, indicando que la variación del rendimiento metálico del convertidor, tiene un

38% de relación a medida que aumenta el contenido de silicio en el arrabio. Además de ello, observándose la gráfica, se evidencia que si se proyecta esta línea unos puntos más, se obtiene un rendimiento metálico alto cuando los porcentajes de silicio en el arrabio son próximos a 0,4-0,5%, estando dentro de un arrabio óptimo o tipo I. En otras palabras, los porcentajes de silicio bajos (menores a 0,4%), afectan el rendimiento metálico debido a los niveles elevados de oxidación de la escoria en un 38,3%, oxidaciones las cuales para esos datos presentan un promedio de 27,93%. Estas elevadas oxidaciones en cargas que contienen arrabios con silicios menores a 0,4%, se debe a que al momento de cargar este tipo de arrabios, en la operación se cuenta con chatarra para soplar arrabios que contienen silicios de 0,7%, provocando que el balance térmico de la carga no sea el óptimo, por lo cual, con el fin de alcanzar la temperatura óptima de colado, se oxida el hierro en la última etapa de afino.

Cabe resaltar que este dato de correlación en lo ideal debería ser de 1, pero debido a la cantidad de variables que presenta este proceso, se considera este dato como un dato representativo para tener en cuenta dentro del análisis.

6.7.2 Influencia del silicio en el rendimiento metálico cuando se tiene arrabios con concentraciones de silicio mayores a 1,0%.

Grafica 16. Influencia del silicio en el rendimiento metálico en concentraciones menores al 1,0%.



Fuente: Autor.

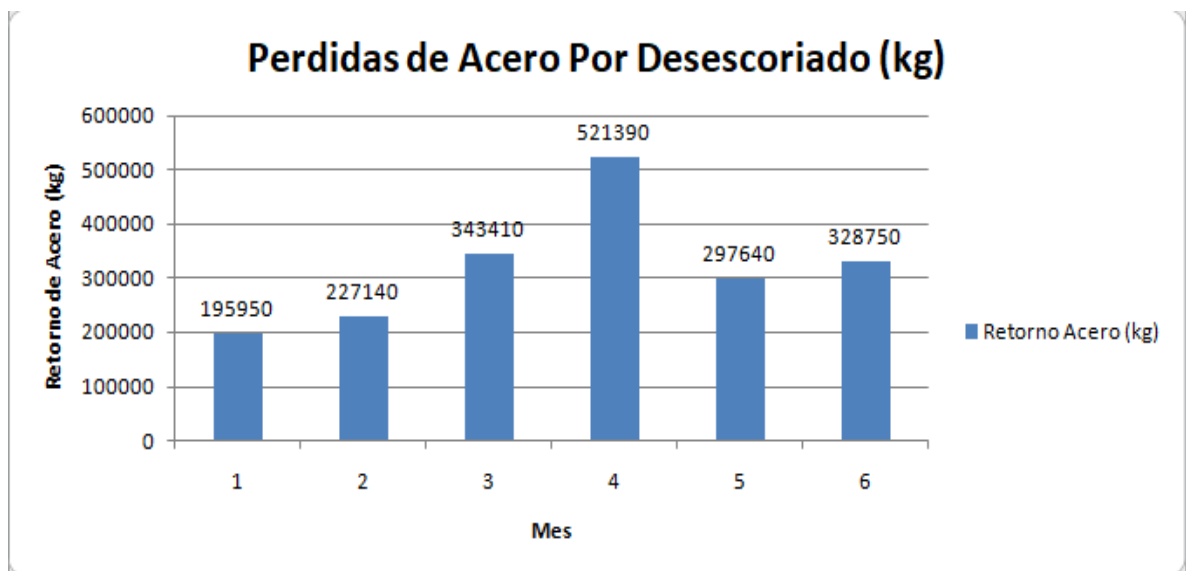
La variación del rendimiento metálico cuando se procesan cargas con concentraciones de silicio en el arrabio mayor a 1,0%, está influenciada tan solo en

un 15,3%, los cuales se pueden atribuir a proyecciones durante el proceso de soplo, estando a su vez influenciado por otras variables del proceso.

6.8 PERDIDAS GENERADAS POR DESESCORIADO DEL CONVERTIDOR.

Debido al diseño del convertidor LWS, este tipo de convertidores presenta la dificultad de que la piqueta de desescoriado y de colado es la misma, lo cual provoca que durante el proceso de eliminación de escoria se dé el paso de acero, lo cual hace que se disminuya el rendimiento metálico por carga, por lo cual como última acción dentro del desarrollo del proyecto, se procedió a verificar la pérdida de acero por la eliminación de escoria. Estos datos se muestran a continuación en la grafica 17.

Grafica 17. Pérdidas de acero generadas por desescoriado en los últimos seis meses.



Fuente: Autor.

Promediando los valores obtenidos durante estos meses, se obtiene un promedio de 319,046 kilogramos de acero perdido por desescoriado del convertidor, en donde al dividir este valor entre 4, que corresponde al número de semanas que conforman un mes y el valor obtenido allí dividirlo entre 7 que corresponde al número de días que trae una semana y teniendo en cuenta que en promedio durante un día de operación normal se procesan 28 coladas, da un valor de 406,94 kilogramos de acero que se pierden por el paso de acero a la cuba en la etapa de desescoriado.

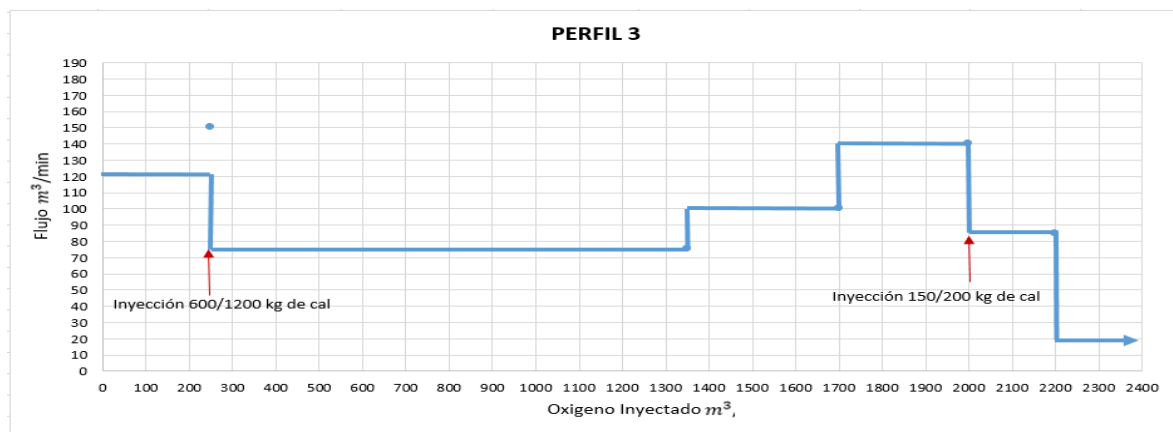
Estos 406,94 kilogramos en el índice de rendimiento metálico representan un aumento de 0,9%.

Como lo permite evidenciar la grafica 17, existen meses en los cuales las cantidades de retorno de acero producidas por desescoriado del convertidor, son mayores, esto se debe a que en algunas oportunidades al momento de realizar el proceso de desescoriado, la fluidez de la escoria es elevada por las elevadas oxidaciones de FeO en ella, lo cual provoca que no se distinga el acero de la escoria, dificultando la maniobra.

6.9 MODIFICACIÓN AL PATRÓN OPERACIONAL DE SOPLO DE OXIGENO EN CONVERTIDORES

Dentro de la modificación del patrón operacional de soplo con oxígeno en convertidores, se realizó la construcción de un nuevo perfil de soplo, aplicado a convertidores con reparación total (convertidor nuevo), considerando como convertidor nuevo cuando este lleva menos de 50 coladas procesadas. Este perfil de soplo, se puso a prueba con 7 cargas procesadas. Los resultados se muestran a continuación.

Figura 23 Perfiles de soplo para convertidor nuevo.



Fuente: Autor

6.9.1 Resultados obtenidos con perfil 3

Tabla 27. Composición química del arrabio aplicando el perfil 3 de soplo.

N.COLAD A	Arrabi o a CV	Retorno<40 0	Retorno >400 C3	C	Mn	P	Si	Fe	IRM
1	36550	60%	40%	3,76	1,81	0,848 8	0,56 3	93,01 8	80,3 %
2	32580	60%	40%	3,95 0	2,11 0	0,976	0,68 0	92,28 4	84,0 %
3	33670	60%	40%	3,92	2,24 9	0,992	0,70 5	92,13 4	84,4 %
4	33670	60%	40%	3,90 1	2,07 8	0,968	0,57 1	92,48 2	85,3 %
5	34540	60%	40%	3,76	2,41	0,916	0,78 4	92,13 0	83,2 %
6	34100	60%	40%	3,72	2,22 5	0,888	0,68 9	92,47 8	82,3 %
7	34460	60%	40%	3,89	2,06 4	0,912	0,67	92,46 4	83,2 %

Fuente: Autor.

El porcentaje de participación promedio de la chatarra durante estas pruebas realizadas fue de 19,5%. Esta variación se debe a que el convertidor nuevo se encuentra en frío (con una temperatura en el revestimiento de 850°C), con el fin de mantener el balance térmico de las cargas.

Durante los ensayos realizados, se obtuvo un rendimiento metálico promedio de 83,3%, con la novedad que para el momento del arranque se disponía de poca chatarra, tomándose la determinación de agregar una tonelada de chatarra comprada y una tonelada de chatarra propia. Por otro lado la capacidad de la carga metálica del convertidor, no paso de 44500 kilogramos, siendo un factor indispensable para un convertidor nuevo, debido a que mientras este encuentra su equilibrio térmico, durante el proceso se generan bastantes proyecciones, provocando pérdidas que traen consigo la disminución del rendimiento metálico.

Además de ello, con el nuevo perfil de soplo, durante el seguimiento realizado se evidencio que las proyecciones de este eran pocas, siendo función a su vez de la composición química del arrabio en donde al observar las composiciones químicas del arrabio, se evidencia que este arrabio en su composición química corresponde a un arrabio tipo I, siendo el arrabio óptimo para arrancar en un convertidor nuevo.

7. CONCLUSIONES.

- La caracterización química de chatarras empleadas en la fabricación de acero sismoresistente en la empresa Acerías Paz del Río, permitió clasificar y separar cada uno de los tipos de retorno de acero generados en los diferentes puntos y procesos llevados a cabo en la división de aceración.
- Para estandarizar una mezcla de chatarra teniendo en cuenta el rendimiento metálico, se hace necesario como medida prioritaria garantizar un gran volumen de chatarra de retorno tipo II y chatarra comprada.
- Los Mix que contienen chatarra de extramuro, presentan los rendimientos metálicos y pesos promedio de carga más bajos, siendo poco recomendable realizar mezclas con este tipo de chatarra, a pesar que presenta los tiempos promedio de soplo más bajos.
- El rendimiento metálico varía de un Mix a otro, debido a la variación en los porcentajes de silicio en el arrabio, siendo más grave y evidente en las cargas que contienen arrabios menores 0,4%, con una proporción menor a 67% de retorno fino y 33% de retorno grueso, estos bajos rendimientos metálicos se presentan debido al exceso de oxidación del hierro en la escoria.
- Para arrabios con porcentajes de silicio menores a 0.4% y con el Mix número 5 se evidencia que el rendimiento metálico más bajo es de 83.3%, debido a que al aumentar la proporción de retorno grueso proveniente de convertidores, se aumenta la cantidad de hierro metálico añadida al convertidor.
- El Mix 45%Fino-55%Grueso y 1000 kilogramos de chatarra comprada, fue el Mix que presentó mayor rendimiento metálico, a pesar de que durante los ensayos se procesaron dos cargas con concentraciones de silicio en el arrabio menor a 0,3%, el rendimiento metálico en estas cargas no fue menor a 82%, debido a que este tipo de retorno dentro de su composición química elemental, contiene 98.9% a 99% de hierro metálico.
- Bajo condiciones ideales de composición química en el arrabio, el Mix que presentó mayor peso promedio de colada fue el Mix número 6 75%fino-25%grueso. Cabe resaltar que la diferencia entre los pesos promedio de colada entre los Mix realizados sin adicionar chatarra de extramuro, es tan solo de 57 kilogramos.
- Comparando el Mix número 1, el cual obtuvo un rendimiento metálico de 83.37 y un peso promedio de colada de 38463 kilogramos, con el Mix número 7, el cual obtuvo un peso promedio de colada de 37450 kilogramos y un rendimiento metálico de 83.24, el Mix 7 presenta un costo alto, pero uno de los pesos

promedios de colada más bajos, a pesar que dentro de su composición química elemental contiene 96-97% de hierro metálico. Esto se debe a que en el vaciado de los remanentes de acero de las cucharas en el foso del horno cuchara, se vierte los remanentes y la escoria, formando capas de escoria y metal, las cuales se dificultan retirar al momento de realizar la limpieza, debido a que presentan una formación tipo Sándwich de escoria, embebida en una matriz metálica.

- Como lo muestran las graficas de los Mix realizados, cuando se obtienen elevadas oxidaciones de hierro bajo la forma de FeO en la escoria, la tendencia del rendimiento metálico es a disminuir, en donde al considerar que en promedio en el convertidor se producen 8 toneladas de escoria, por cada punto de oxidación que se aumente en la escoria bajo condiciones normales, se están perdiendo 166 kilogramos de hierro bajo la forma de FeO.
- El perfil de soplo 3 presento buen desempeño durante el arranque del convertidor nuevo, siendo favorecido por la composición química de un arrabio tipo I, siendo a su vez un factor importante la carga metálica máxima que se puede añadir a estos equipos cuando el revestimiento tiene un numero de servicios menor a 50.
- Los tiempos de soplo en el proceso de convertidores, no se ve afectado por la variación en los Mix de chatarra.
- Debido al diseño del convertidor LWS se pierde en promedio 406 kilogramos de hierro por paso de acero ala cuba en la etapa de desescoriado.

8. RECOMENDACIONES.

- Implementar un sistema en el foso del horno cuchara, el cual se pueda verter únicamente el remanente de las cucharas de acero, en una cuba fabricada en fundición (coquilla), con el fin de evitar problemas que el acero líquido sobrante se mescle con la escoria y forme capas de escoria con metal.
- Siempre que sea posible, limpiar en patio metálico el retorno de acero proveniente de separadores magnéticos mediante la técnica de golpeteo con bola de acero, debido a que en algunas observaciones realizadas, se evidencio que este retorno contenía escoria adherido a él.
- Con el fin de evitar tantas variaciones en la composición química del arrabio y variaciones en los rendimientos metálicos, poner en funcionamiento el mezclador.
- En patio metálico, no mezclar los diferentes tipos de retorno de acero provenientes de los procesos de horno cuchara y convertidores (continuar con la separación).
- Tener siempre disponible una cesta con chatarra de 8 toneladas, con el fin de garantizar el perfil térmico de las cargas, cuando los porcentajes de silicio en el arrabio sean menores a 0,4% y no se pueda realizar mezclas.

BIBLIOGRAFÍA

- Acerías Paz del Río. Capacitación Tema I Fundamentos de convertidores LWS. (Consultado el 23 de septiembre del 2017).
- ALMADA FARIA. Marco. SOARES. Claudio. Operação de refino de aço. Brazil. 2002. p. 3-50.
- Basic Oxygen Steelmaking (Enlínea). Fecha de consulta 19 de septiembre del 2017). Disponible en (<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema4.FabricacionAcero.ConvertidorLD.pdf>).
- BLANCO,C.VEGA,A. DIAZ, M. Proceso de conversión de acero y efecto de variables en convertidores tipo L.B.E. En: (En línea). (12 de Diciembre de 2017)disponibleen:(<http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/index>).
- CAMPOS BATISTA.Emercio. GUIMARAESATHAYDE JUNIOR. Joao. Controle De Processo. Brazil,2002.p.2-10.
- CAPPEL. Jurgen. Dephosphorization strategies and modeling in oxygen steelmaking. (En línea). (17 de Diciembre de 2017) disponible en: (www.ResearchGate.com).
- ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. Sampling Guidance for Scrap Metal Shredders Field Manual. UnitedStates. 1993. p.8-25.
- Fundamentos del proceso de calcinación. Cartilla de capacitación. Belencito. Acerías Paz del Río, 2007.p.5-45.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Guía para el aprovechamiento de los residuos sólidos GTC 53-5, primera edición. Bogotá. ICONTEC, 1999
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Clasificación de chatarras de acero norma 1261, primera edición. Bogotá. ICONTEC, 1976

- Magnesita. Presentación ppt Tema I Refractarios empleados en la acería. (Consultado el 23 de septiembre del 2017).
- MOREIRA ARAUJO. Dione. ALMEIDA PEIXOTO. Leandro. HAHNE. Christian. Melhoria continua do rendimento metálico do convertedor LD DA V&M Do Brasil. (En línea). (5 de Diciembre de 2017) disponible en (<https://www.abmbrasil.com.br/>).
- NIÑO REYES. Helbert. PARRA AVILA. Oscar. Diseño de una escoria sintética para el horno cuchara de Acerías Paz del Rio en su primera fase. Tunja, 2004, 61p. Trabajo de investigación (Ingeniero metalúrgico). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ingeniería.
- PEREZ VILLAMIL. Fabio. Viscosidad y conductividad de escorias típicas en la producción de ferroníquel. (En línea). (17 de Diciembre de 2017) disponible en: (<http://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria>).
- PRICE. David. Yield improvement in the Steel industry. En: Institute of Materials, Minerals and Mining. Vol. 36 (2009); p.1-5.
- RODRIGUEZHENRIQUES. Bruno. KIRMSE. José Odair. Rendimento de Aço Líquido na AMT: Entendendo, controlando e Otimizando. (En línea). (19 de Diciembre de 2017) disponible en (<https://www.abmbrasil.com.br/>).

ANEXOS

Tabla 28. Resultados obtenidos para Mix 1.

				Composición química de arrabio líquido									
N.COLADA	Arrabio a CV	Retorno <400	Retorno >400	C	Mn	P	Si	Fe	IRM	Retorno	Arrabio	btal Chatarr	% FeO
1	34580	67%	33,00%	3,8	1,47	1,2	0,750	92,780	86,93	9080	3000	12080	19,6
2	33550	67%	33,00%	3,810	1,480	1,260	0,850	92,600	85,69	9030	2990	12020	21,3
3	33450	67%	33,00%	3,8815	1,565	1,32766	0,984	92,242	86,1	9040	3020	12060	20,5
4	33330	67%	33,00%	3,88	1,57	1,3	0,980	92,270	85,79	9040	3010	12050	23,9
5	33520	67%	33,00%	3,43	1,32	0,98	0,580	93,690	84,62	9030	3030	12060	21,8
6	33540	67%	33,00%	3,42	1,48	1,19	0,57	93,340	85,11	9080	2950	12030	23,1
7	33550	67%	33,00%	3,62	1,44	1,09	0,74	93,110	85,7	9080	2990	12070	21,4
8	33630	67%	33,00%	3,68	1,650	1,170	0,380	93,120	85,04	9020	3040	12060	21,8
Promedio	33643,75	0,67	0,33	3,6901875	1,496875	1,189708	0,72925	92,89398	85,6225	9050	3003,8	12053,8	21,675
9	33650	67%	33,00%	3,544442793	1,521	1,016	0,696	93,22255721	83,34426947	9050	3020	12070	22,3
10	33510	67%	33,00%	3,463927484	1,649	1,01	0,913	92,96407252	85,00549089	8950	3070	12020	26,4
11	33900	67%	33,00%	3,516	1,605	1,076	1,00538	92,79762	83,60670002	9030	3040	12070	23,1
12	34100	67%	33,00%	3,489	1,531	1,124	0,9199	92,9361	86,49187432	9000	3050	12050	30,1
13	34210	67%	33,00%	3,526952	1,479273	1,193555	1,06	92,74022	84,69621622	9000	3040	12040	21,2
14	33910	67%	33,00%	3,749	1,275	1,304	0,795	92,877	80,06962576	8990	3060	12050	22,3
15	34340	67%	33,00%	3,356	1,11	1,13	0,726	93,678	90,40319103	9000	3040	12040	31,5
16	33800	67%	33,00%	3,4	1,192	1,095	1	93,313	85,45930613	9040	2990	12030	25,4
17	33720	67%	33,00%	3,44	0,79	1,12	0,23	94,42	78,08440848	8960	3050	12010	28,6
18	34080	67%	33,00%	3,15	0,66	1,05	0,27	94,87	81,83138275	9030	3030	12060	27,7
Promedio	33922	0,67	0,33	3,463532228	1,2812273	1,111856	0,761528	93,38185697	83,89924651	9005	3039	12044	25,86
19	33910	67%	33,00%	3,15	0,66	1,05	0,27	94,87	81,37	9060	2980	12040	38,04
20	34060	67%	33,00%	3,43469172	1	1,098	0,585	93,88230828	85,65	9040	3030	12070	24,3
21	34400	67%	33,00%	3,450605096	1,021	1,104	0,618	93,8063949	79,96	9000	3000	12000	26,3
22	34510	67%	33,00%	3,399560997	1,13	1,066	0,736	93,668439	83,01	9090	2940	12030	24,3
23	34350	67%	33,00%	3,22206	0,851326	1,173474	0,18	94,57314	80,2	9030	3030	12060	21,7
24	34280	67%	33,00%	3,591016424	1,46	1,109	1,115	92,72498358	84,88	9010	3000	12010	25,2
25	35120	67%	33,00%	3,844867597	1,822	1,182	1,55	91,6011324	85,24	9000	3070	12070	23,47
26	34760	67%	33,00%	3,73188435	1,619	1,122	1,301	92,22611565	81,88	9050	3000	12050	21,8
27	34720	67%	33,00%	3,154815668	0,63	0,827	0,0599	95,32828433	78,94	8990	3030	12020	28,3
Promedio	34456,66667	0,67	0,33	3,442166872	1,132591778	1,081275	0,712766667	93,63119979	82,34777778	9030	3008,9	12038,9	25,934
28	34710	67%	33,00%	3,166853933	0,639	0,811	0,135	95,24814607	77,1	9010	3030	12040	29,6
29	33850	67%	33,00%	3,36988	1,480542	0,954617	0,718	93,476961	83,83	9000	3000	12000	26
30	33730	67%	33,00%	3,474073525	1,26	1,125	0,594	93,54692647	88,03	9050	3030	12080	28
31	33470	67%	33,00%	3,44	1,525	1,021	0,7559	93,2581	85,9	9050	3030	12060	23
32	32400	67%	33,00%	3,829622	1,969492	1,17903	1,228	91,793856	84,5	9000	3060	12060	21,1
33	33530	67%	33,00%	3,714938861	2,038	1,173	1,24	91,83406114	83,63	9020	3010	12030	22,2
34	33890	67%	33,00%	3,75765	2,086436	1,225158	1,217	91,713756	85,72	8970	3050	12020	18
35	33780	67%	33,00%	3,767282416	1,76	1,114	1,2602	92,09851758	81,9	8990	3020	12010	21,4
Promedio	33654,28571	0,67	0,33	3,536145474	1,57121	1,069829	0,841128571	92,98168667	84,10142857	9014,3	3030	12041,4	23,986
36	33320	67%	33,00%	4,071873987	1,13	1,168	1,4748	92,15532601	79,7	9060	2990	12050	22,1
37	33780	67%	33,00%	3,563889876	1,175	1,165	1,47	92,62611012	80	9030	3040	12070	24,5
38	33820	67%	33,00%	3,5	1,2749	0,966	0,427	93,8321	82,42	8970	3090	12060	19,8
39	33770	67%	33,00%	3,641255552	1,235	1,076	0,449	93,59874445	81,77	9000	3050	12050	23,4
40	33830	67%	33,00%	3,727029104	1,299	1,116	0,647	93,2109709	82,71	9010	3000	12010	24,9
41	33840	67%	33,00%	3,893826241	1,06	1,197	1,04	92,80917376	80,85	9030	3020	12050	24,1
42	33890	67%	33,00%	3,773385	1,596884	1,154377	1,064	92,411354	79,38	9040	3010	12050	23,6
43	33790	67%	33,00%	3,876802012	1,635	1,1549	1,079	92,25429799	80,37	9000	3070	12070	20,5
44	33810	67%	33,00%	3,987219491	1,771	1,187	1,1005	91,95428051	80,99	9000	3030	12030	22,8
Promedio	33761,11111	0,67	0,33	3,781697918	1,352976	1,131586	0,972366667	92,76137308	80,91	9015,6	3033,3	12048,9	22,856

Tabla 29. Resultados obtenidos para Mix 2.

				Composicion quimica arrabio liquido										
N.COLADA	Arrabio a CV	Retorno <400	Retorno >400 C3	C	Mn	P	Si	Fe	IRM	Retorno	Arrabio	Extramuro	Total Chatarra	% FeO Fin Sople
1	34100	50%	50%	3.454	1,920	0.708	0.330	93.588	82.61351	7050	2970	1030	11050	28.5
2	34320	50%	50%	3.540	1,990	0.790	0.220	93.460	81.36524	6970	3050	1000	11020	27.4
3	34290	50%	50%	3.780	2,100	0.869	0.235	93.016	88.69019	6970	3070	1020	11060	20.6
4	34200	50%	50%	3.522	1,984	0.837	0.185	93.472	84.51392	6980	3030	1050	11060	21.8
5	34220	50%	50%	3.8	2,020	0.864	0.205	93.111	82.76403	6890	3080	1070	11040	26.4
6	34280	50%	50%	3.51	1,980	0.880	0.200	93.430	83.84514	6960	3050	1040	11050	24.4
7	34210	50%	50%	3.6945	2,158	0.823	0.305	93.020	85.13693	7010	2970	1090	11070	23.2
8	34800	50%	50%	3.54	1,990	0.790	0.220	93.460	83.13413	6980	3000	1070	11050	23.8
9	34860	50%	50%	3.521515	2,099	0.762	0.382	93.235	81.53293	6860	3080	1060	11000	26.8
10	34880	50%	50%	3.68	2,420	0.740	0.760	92.400	86.69135	6990	2990	1050	11030	22.8
11	34860	50%	50%	3.64187	2,420	0.717	0.69	92.531	84.76896	7020	2990	1010	11020	25.5
Promedio	34456.3636	50%	50%	3.604	2,066	0.806	0.304	93.219	84.029	6.966.000	3.029.000	1.048.000	11040.90909	24.57
12	33680	50%	50%	3.606	2,218	0.794	0.341	93.041	80.10273	8030	3000	1040	12070	24
13	33860	50%	50%	3.71	2,41	0.844	0.581	92.455	82.89015	8030	2990	1000	12020	22
14	33850	50%	50%	3.670561	2,227	0.827	0.499	92.77644	80.17647	7960	3010	1080	12050	23.3
15	33840	50%	50%	3.611702	2,143	0.768	0.535	92.9423	86.02749	7900	3010	1090	12000	27
16	33900	50%	50%	3.821372	2.50422	0.776372	0.685	92.21304	80.11754	8050	2990	1000	12040	23.4
17	33800	50%	50%	3.720425	2,23518	0.853227	0.621	92.57017	81.30747	8040	2990	1060	12090	21.3
18	33500	50%	50%	3.458802	2,149377	0.732659	0.383	93.27616	82.8173	8040	3000	1000	12040	20
19	33620	50%	50%	3.792439	2.63	0.855	0.655	92.06756	83.25816	8000	2980	1070	12050	19.9
20	33560	50%	50%	3.62981	2,352068	0.747967	0.66	92.61016	84.23431	8010	2990	1020	12020	30.5
21	33730	50%	50%	3.704927	2,325	0.765	0.548	92.65707	83.0786	7990	3030	1050	12070	22.2
Promedio	33734	50%	50%	3.672604	2,319385	0.796323	0.5508	92.66089	82.40102	8005	2999	1041	12045	22.9

Fuente: Autor.

Tabla 30. Resultados obtenidos para Mix 3

				Composicion quimica arrabio liquido										
N.COLADA	Arrabio a CV	Retomo <400	Retomo >400	C	Mn	P	Si	Fe	IRM	Retomo	Arrabio	Extramuro	Total Chatarra	% FeO Fin Sopo
1	33740	80%	20%	3,832859	2,377443	0,897997	0,629	92,2627	84,13462	8010	3030	980	12020	23,8
2	33830	80%	20%	3,734509	2,554	0,8078	0,7163	92,18739	84,15921	8040	2920	1060	12020	29,0
3	33850	80%	20%	3,655305	2,3233	0,7605	0,5343	92,7266	80,81664	7970	3030	1070	12070	27,2
4	33810	80%	20%	3,654	2,323	0,761	0,531	92,731	83,76799	8060	2980	1010	12050	23,2
5	33730	80%	20%	3,485446	1,889	0,682091	0,4173	93,52616	87,04198	8020	2940	1050	12010	24,3
6	33750	80%	20%	3,572688	2,100233	0,867245	0,449263	93,01057	83,11694	7950	2970	1080	12000	24,0
7	33530	80%	20%	3,810398	2,626297	0,797124	0,774	91,99218	85,71523	7980	3050	1020	12050	20,2
8	33630	80%	20%	3,539908	1,9341	0,7268	0,4846	93,31459	81,73961	8040	3030	1000	12070	20,9
9	33690	80%	20%	3,533541	1,8985	0,7254	0,4563	93,38626	81,37426	8060	2990	1030	12080	23,66
10	34290	80%	20%	3,706006	2,039	0,79	0,646	92,81899	80,38188	8080	2970	1010	12060	25,23
Promedio	33785	80%	20%	3,652466	2,206487	0,781596	0,563806	92,79564	83,22483	8021	2991	1031	12043	24,08166667
11	33820	80%	20%	3,53	2,1	0,821	0,723	92,826	85,18519	7980	3060	1040	12080	23,6
12	33850	80%	20%	3,651998	2,404	0,709	0,674	92,5608	85,57227	7950	3060	1010	12020	24,1
13	33820	80%	20%	3,47	2,01	0,7	0,65	93,17	81,69935	8020	3040	1020	12080	34,1
14	33870	80%	20%	3,37	2,160	0,730	0,680	93,06	80,69281	7970	3070	990	12030	23,2
15	33810	80%	20%	3,675623	2,258	0,7256	0,7837	92,55708	80,93546	8060	2950	1040	12050	26,1
16	33830	80%	20%	3,690	2,940	0,800	1,640	90,93	79,18011	8020	2980	1030	12030	24,2
17	33560	80%	20%	3,616502	2,589	0,737	1,085	91,9725	78,70013	7960	3020	1080	12060	24,3
18	34760	80%	20%	3,402268	2,012	0,671	0,498	93,41673	81,79547	8070	3000	1010	12080	21,07
Promedio	33915	80%	20%	3,550799	2,309125	0,7367	0,841738	92,56164	81,7201	8003,75	3022,5	1027,5	12053,75	23,774

Fuente: Autor.

Tabla 31. Resultados obtenidos para Mix 4.

N.COLADA	Arrabio a CV	Retorno <400	Retorno >400	Composicion quimica arrabio liquido					IRM	Retorno	Arrabio	Extramuro	Total Chatarra	% FeO Fin Soplo
				C	Mn	P	Si	Fe						
1	34790	60%	40%	4,023203	2,55	0,8233	1,11	91,4935	79,04975	8010	2970	1060	12040	22,97
2	34700	60%	40%	3,91	2,4519	0,788	1,206	91,6441	80,35936	8000	3050	1000	12050	18,3
3	34720	60%	40%	3,927	2,5926	0,807	1,149	91,5244	82,51015	8060	3000	1030	12090	23,9
4	34780	60%	40%	3,669473	2,321	0,6966	0,7847	92,52823	80,07472	8030	3010	1020	12060	19,7
5	34730	60%	40%	3,861855	2,549626	0,838333	0,968	91,78219	84,63889	8030	2990	1050	12070	21,3
6	34880	60%	40%	3,716	2,179	0,7284	0,677	92,6996	80,68032	7980	3020	1010	12010	20,99
7	34760	60%	40%	3,586552	2,103	0,774	0,362	93,17445	83,41953	8010	3020	1000	12030	27,41
8	34710	60%	40%	3,531711	1,96	0,737	0,368	93,40329	81,02159	8030	3010	1040	12080	27,2
9	33750	60%	40%	3,6424	1,802	0,755	0,405	93,3956	78,88962	8060	3000	940	12000	23
Promedio	34646,6667	0,6	0,4	3,763133	2,278792	0,771959	0,781078	92,40504	81,18266	8023,333	3007,778	1016,667	12047,7778	22,75222222
10	34670	60%	40%	4,015329	2,71	0,889	1,085	91,30067	80,75573	8030	2940	1070	12040	26,9
11	34680	60%	40%	4,002132	2,724	0,886	1,1112	91,27667	81,16866	8030	2940	1070	12040	18,38
12	34520	60%	40%	3,862771	2,579687	0,814242	0,7908	91,9525	79,97207	8010	3020	1000	12030	18,2
13	34690	60%	40%	3,827	2,61	0,8273	0,844	91,8917	78,37936	7990	3050	980	12020	24,2
14	34320	60%	40%	3,550166	2,513616	0,82665	0,606	92,50357	82,4714	8060	3040	910	12010	26,05
15	34180	60%	40%	3,55	2,51	0,826	0,606	92,508	80,76308	8020	3000	1060	12080	24,07
16	34250	60%	40%	3,53068	2,476	0,787	0,6635	92,54282	83,8347	8030	3000	1060	12090	30,2
17	34430	60%	40%	3,470579	2,291932	0,787127	0,61661	92,83375	78,78091	8020	3050	1010	12080	27
18	33810	60%	40%	3,862771	2,579687	0,814242	0,7908	91,9525	80,07412	8060	3000	1000	12060	26
19	33780	60%	40%	3,868213	2,578429	0,823211	0,753195	91,97695	82,06498	8020	3060	1000	12080	29,4
20	33830	60%	40%	3,738776	2,504744	0,714626	0,582423	92,45943	79,6907	8020	3060	1000	12080	25,8
21	33820	60%	40%	3,8962	2,528434	0,752106	0,734283	92,08898	84,21626	8020	3030	1000	12050	20
Promedio	34248,3333	0,6	0,4	3,764551	2,550544	0,812292	0,765318	92,10729	81,01433	8025,833	3015,833	1013,333	12055	24,68333333

Tabla 32. Resultados obtenidos para Mix 5.

N.COLADA	Arrabio a CV	Retorno <400	Retorno >400	Composicion quimica arrabio liquido					IRM	Retorno	Arrabio	Comprada	Total Chatarra	% FeO Fin Soplo
				C	Mn	P	Si	Fe						
1	32790	45	55	3,238032	1,1419	0,8361	0,397	94,38697	82,8	9000	2050	1060	12010	22,97
2	33420	45	55	3,554953	1,615	0,895	0,661	93,27405	80,7	9070	2010	1000	12070	18,3
3	34290	45	55	3,216865	1,421	0,838	0,2345	94,28964	84,67	9100	2020	1030	12090	23,9
4	35250	45	55	3,333912	1,362	0,825	0,2913	94,18779	83,03	7010	2000	1020	9010	19,7
5	35280	45	55	3,30667	1,419	0,78	0,285	94,20933	86,35	6990	2050	1050	10090	21,3
6	35100	45	55	3,659512	1,821	0,996	0,901	92,62249	86,77	7030	2000	1020	10050	20,99
7	33650	45	55	3,614	1,77	0,971	0,826	92,819	83,85	7000	2010	1000	10010	27,41
8	33870	45	55	3,654	1,78	0,964	0,897	92,705	82,39	9050	2030	1000	12080	27,2
9	33750	45	55	3,43	1,664	0,866	0,491	93,549	90,69	9020	2000	1010	12030	23
10	33850	45	55	3,8127	2,24	1,026	0,941	91,9803	84,04	9020	2040	1010	12070	24,5
Promedio	34125	45	55	3,482064	1,62339	0,89971	0,59248	93,40236	84,529	8229	2021	1020	11151	22,927
11	33740	45	55	4,042899	2,419	1,091	1,298	91,1491	85,76	9000	2010	990	12000	21,9
12	33530	45	55	3,961305	2,505	1,133	1,193	91,20769	86,49	9040	2030	1000	12070	22,6
13	33650	45	55	3,999625	2,511406	1,141546	1,18	91,16742	81,18	9010	2020	990	12020	21,6
14	33200	45	55	4,275678	2,085	1,091	0,952	91,59632	87,18	8980	1990	1080	12050	24,3
15	33040	45	55	3,853723	2,19	0,98	0,871	92,10528	86,71	9010	2040	1020	12070	21,8
16	33230	45	55	3,905	2,054	1,031	0,936	92,074	84,04	9050	2020	970	12040	23,1
17	33190	45	55	3,85	1,98	0,978	0,666	92,526	84,04	8960	2050	1070	12080	22,4
18	33130	45	55	3,618347	1,697563	0,957745	0,462	93,26435	82,25	9040	1980	1040	12060	24,7
Promedio	33468,5	45	55	3,938322	2,180246	1,050411	0,94475	91,88627	84,70625	9011,25	2017,5	1020	12048,75	23,06666667

Fuente: Autor.

Tabla 33. Resultados obtenidos para Mix 6.

N.COLADA	Arrabio a CV	Retorno <400	Retorno >400	Composicion quimica arrabio liquido					IRM	Retorno	Arrabio	Extramuro	Total Chatarra	% FeO Fin Soplo
				C	Mn	P	Si	Fe						
1	33630	75%	25%	3,758325	2,098	0,974	0,788	92,38168	84,2	8950	3070	-	12020	22,2
2	33790	75%	25%	3,863966	1,923	1,1421	0,664	92,40693	82,64	9010	3020	-	12030	24,01
3	34100	75%	25%	3,866388	1,7864	1,094	0,6921	92,56111	82,3	8970	3050	-	12020	25,58
4	33720	75%	25%	3,82845	1,9509	1,022	0,856	92,34265	84,86	8970	3080	-	12050	26,1
5	34000	75%	25%	3,82	1,98	1,02	0,75	92,43	82,99	9000	3010	-	12010	21,8
6	34050	75%	25%	3,796704	2,078102	0,952307	0,908	92,26489	87,19	8970	3050	-	12020	20,5
7	34400	75%	25%	3,856063	2,131974	1,016776	0,98	92,01519	81,2	9030	3000	-	12030	23,1
8	33660	75%	25%	4,170498	2,275875	1,270599	1,03	91,25303	85,5	8990	3030	-	12020	20,2
9	33380	75%	25%	3,8117	2,028	0,964	0,875	92,3213	85,7	9000	3090	-	12090	19,6
Promedio	33858,8889	0,75	0,25	3,863566	2,028028	1,050642	0,838122	92,21964	84,06444	8987,778	3044,444	#DIV/0!	12032,22222	22,93625
10	35650	75%	25%	3,458345	1,485	0,98	0,339	93,73765	86,39	6990	3040	-	10030	27,4
11	34580	75%	25%	3,549826	2,074	1,143	0,8232	92,40997	86,75	8940	3060	-	12000	20,3
12	34350	75%	25%	3,407004	1,659	0,796	0,59	93,548	83,19	9040	3000	-	12040	28,6
13	34270	75%	25%	3,524925	1,668066	0,884001	0,659	93,26401	85,25	9050	3020	-	12070	22,5
14	33860	75%	25%	3,542594	1,912964	0,995397	0,611	92,93805	83,72	9100	2930	-	12030	24,2
15	33390	75%	25%	3,607845	2,08	1,013	1,169	92,13016	84,44	8980	3030	-	12010	22,4
16	33350	75%	25%	3,749854	2,052	1,159	1,0688	91,97035	85,31	8990	3040	-	12030	19,9
Promedio	34207,1429	0,75	0,25	3,548628	1,84729	0,995771	0,751429	92,85688	85,00714	8727,143	3017,143	#DIV/0!	11744,28571	23,61428571

Fuente: Autor.

Tabla 34. Resultados obtenidos para Mix 7.

N. Colada	Arrabio a Cv	Retorno <400	Retorno >400	Composición química arrabio líquido					IRM	Retorno	Arrabio	Comprada	Total Chatarra	% FeO
				C	Mn	P	Si	Fe						
1	30000	50%	50%	4,325504	2,2319	1,162	0,861	91,4196	85,34	6950	1060	1020	9030	23,1
2	34120	50%	50%	3,76067	2,148739	0,991904	0,448	92,65069	80,65	6990	2020	2050	11060	29,8
3	34330	50%	50%	3,943	2,287	0,982	0,658	92,13	81,89	7020	2070	1990	11080	24,7
4	34310	50%	50%	3,872746	2,205667	0,869811	0,5437	92,50808	85,94	7030	2030	2000	11060	27,1
5	33320	50%	50%	3,811629	2,069	0,905	0,5264	92,68797	85,95	7060	2000	1990	11050	30
6	33520	50%	50%	4,178331	2,377	0,993	0,936	91,51567	76,72	7020	2040	2030	11090	25
7	33650	50%	50%	4,061362	2,318904	0,971601	0,972	91,67613	84,47	7000	2040	2030	11070	18
8	33430	50%	50%	3,976511	2,537807	0,888251	0,72	91,87743	87,7	7010	2030	2020	11060	19,2
9	33400	50%	50%	3,837333	2,1456	0,8428	0,4911	92,68317	84,5	7000	2010	2030	11040	22
10	33390	50%	50%	4,25461	2,38	0,9632	0,819	91,58319	83,64	6920	2100	2030	11050	12
11	33410	50%	50%	3,875221	2,242369	0,897095	0,547	92,43832	85	7010	2000	2030	11040	20,7
12	33370	50%	50%	4,663778	2,544507	0,989174	1,082	90,72054	81,68	7030	1990	2010	11030	19,3
13	33380	50%	50%	3,957597	2,518394	0,925774	0,632	91,96624	84,5	6990	2010	2060	11060	20
14	33360	50%	50%	3,498526	1,88	0,789	0,379	93,45347	80,68	6950	2040	2030	11020	24
15	34600	50%	50%	4,293501	2,5	0,966	1,097	91,1435	79,47	6990	2010	2010	11010	22
16	34300	50%	50%	4,13578	2,464	0,912	0,913	91,57522	78,31	7050	2020	1970	11040	22
17	34190	50%	50%	3,881662	2,186	0,885	0,627	92,42034	80,91	7020	2060	1990	11070	23
18	34420	50%	50%	4,663778	2,544507	0,989174	1,082	90,72054	85,75	6110	2970	1940	11020	24,4
19	34350	50%	50%	3,991528	2,25	0,901	0,809	92,04847	80,85	7040	1980	2020	11040	24,1
20	34000	50%	50%	3,499094	2,484	1,046	0,93078	92,04013	88,064	7060	1980	2020	11060	23,9
21	33950	50%	50%	4,205994	2,8616	1,17	1,275	90,48741	82,61	7040	1980	2020	11040	23,5
22	34050	50%	50%	3,954934	2,407	1,076	0,6769	91,88517	82,32	7020	1970	2040	11030	22,1
23	33850	50%	50%	4,267439	2,59	1,095	0,999	91,04856	86,15	6050	3020	1980	11050	27
24	33950	50%	50%	3,95	2,5737	1,217	0,8286	91,4307	83,84	6010	3040	1970	11020	22,8
25	34380	50%	50%	3,728941	2,187	0,945	0,539	92,60006	86,39	6030	2970	2040	11040	21,9
26	34240	50%	50%	3,660986	2,113238	1,010724	0,5041	92,71095	83,52	5990	2490	2080	10560	22,6
27	34420	50%	50%	3,951969	2,6168	1,11	0,825	91,49623	81,88	6070	2990	2020	11080	20,5
28	33890	50%	50%	3,746496	2,081979	0,881994	0,5723	92,71723	80,31	6050	3000	1960	11010	22,5
29	34360	50%	50%	3,671793	2,13043	0,976598	0,5341	92,68708	83,23	6010	3010	1990	11010	19,2
30	34440	50%	50%	4,150742	2,434419	1,21	0,5988	91,60604	83,56	5990	3050	2000	11040	25,3
31	34310	50%	50%	3,744266	2,1959	0,99	0,497	92,57283	84,7	6000	3050	1970	11020	25,8
32	34330	50%	50%	3,646278	2,150845	0,991521	0,5748	92,63656	82,98	6040	3030	2030	11100	20,5
33	34390	50%	50%	3,959406	2,570918	1,227392	0,829	91,41328	83,39	5970	3070	2010	11050	24,9
Promedio	33860,9091	0,5	0,5	3,973376	2,340279	0,993061	0,737199	91,95608	83,23921	6652,121	2337,273	1981,212	10970,6061	22,815

Fuente: Autor.

Figura 24. Inicio de desarrollo Fase 2.



Fuente: Autor.

Figura 25. Toma muestras de chatarra de arrabio en pilas.



Fuente: Autor.

Figura 26. Muestras de chatarra de arrabio obtenidas en cada punto.



Fuente: Autor.

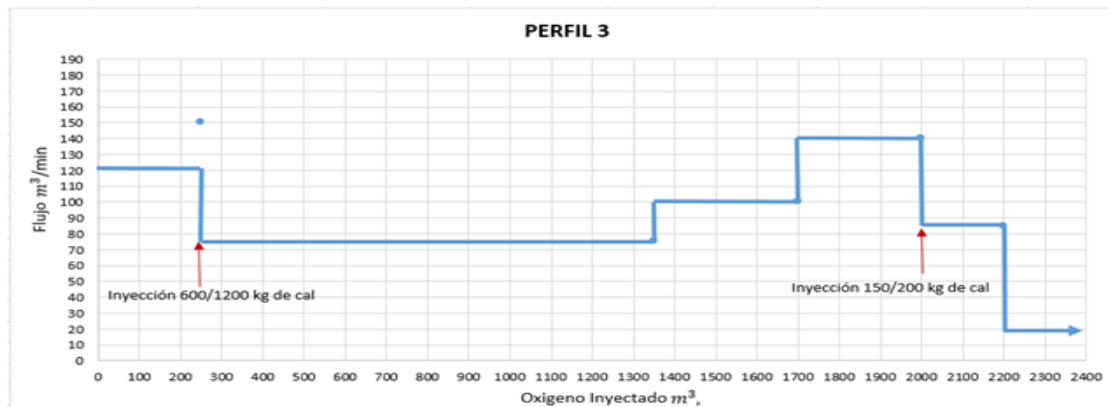
Figura 27. Muestras de retorno tipo I para análisis químico.



Fuente: Autor.

Figura 28. Modificación patrón operacional de soplo de oxígeno en convertidores.

- **Perfil 3.** Convertidor con coladas en el revestimiento menor de 50, inyectar oxígeno, iniciando con **120 m³/min** por seguridad. **Aplicar el perfil 3 el cual se ve a continuación.**



Fuente: Documentación Acerías Paz del Río.

Figura 29. Estandarización de chatarras de retorno interno de acero.

2. RECHAZO	
<p>2.1) Origen rechazo horno cuchara: Este rechazo proviene del acero remanente que queda en las cucharas de acero, después que se ha realizado la colada en el distribuidor (Punto 1) en el mapa. Este material se encuentra contaminado con escoria y tierra principalmente.</p> <p>2.2) Origen rechazo tundish o distribuidor: Es el acero remanente que queda en los distribuidores (Punto 2) en el mapa. Este es un acero de buena calidad. Sus principales contaminantes son escoria en 10% y ladrillo refractario en un 90%.</p> <p>NOTA: Es importante realizar una excelente limpieza de este material, debido a que el refractario adherido al material, puede provocar problemas de desescoriado en el convertidor.</p>	
	
<p>2.3) EVACUACIÓN DE RECHAZO HC Y TUNDISH: Una vez se tenga suficiente material de rechazo, estos materiales se deben llevar al punto 3 del mapa, donde se debe realizar la limpieza del material según el ítem 2.4 del presente patrón operacional.</p>	

Fuente: Documentación Acerías Paz del Río.